



**TUGAS AKHIR – MO.141326**

**ANALISA PERBANDINGAN LAJU KOROSI DI  
LINGKUNGAN LAUT DARI HASIL PENGELASAN GMAW  
PADA SAMBUNGAN ALUMINIUM SERI 5050 KARENA  
PENGARUH VARIASI KECEPATAN ALIRAN GAS  
PELINDUNG**

Pandu Damay Putra

NRP. 4312 100 130

Dosen Pembimbing :

Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D.

Yoyok Setyo H, S.T, MT., Ph.D.

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



**FINAL PROJECT – MO.141326**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF CORROSION RATE IN  
MARINE ENVIRONMENT OF GMAW WELDING PROCESS  
TO 5050 SERIES ALUMINIUM JOINT AS AN EFFECT OF  
SHIELDING GAS FLOW RATE VARIATION**

Pandu Damay Putra

NRP. 4312 100 130

Supervisors :

Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D.

Yoyok Setyo H, S.T, MT., Ph.D.

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016

**Analisa Perbandingan Laju Korosi di Lingkungan Laut dari Hasil Pengelasan GMAW  
pada Sambungan Aluminium Seri 5050 karena Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran  
Gas Pelindung**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gerlar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Pandu Damav Putra**

NRP. 4312 100 130

Disetujui oleh:

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

(Pembimbing 1)

2. Yoyok Setyo H, S.T, M.T., Ph.D.

(Pembimbing 2)

3. Murdjito, M.Sc.Eng.

(Penguji 1)

4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

(Penguji 2)

5. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T.

(Penguji 3)



Surabaya, Juli 2016

## **ABSTRAK**

### **ANALISA PERBANDINGAN LAJU KOROSI DI LINGKUNGAN LAUT DARI HASIL PENGELASAN GMAW PADA SAMBUNGAN ALUMINIUM SERI 5050 KARENA PENGARUH VARIASI KECEPATAN ALIRAN GAS PELINDUNG**

Nama Mahasiswa : Pandu Damay Putra  
NRP : 4312 100 130  
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS  
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D.  
Yoyok Setyo H, S.T, MT., Ph.D.

Penggunaan aluminium saat ini di dunia industri perkapalan sedang berkembang pesat untuk kapal-kapal cepat karena material ini ringan dan memiliki resistensi terhaap korosi yang baik. Namun pengerjaan panas seperti pengelasan akan mempengaruhi struktur mikro material dan berpengaruh terhadap ketahanan korosi. Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) merupakan pengelasan yang umum digunakan pada material aluminium karena meberikan perlindungan dari oksidasi dengan pencairan gas terhadap material lasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi kecepatan aliran gas pelindung terhadap laju korosi aluminium seri 5050. Variasi kecepatan aliran gas pelindung yang digunakan adalah 15, 20, dan 25 liter/menit. Metode pengujian korosi ini menggunakan bantuan sel tiga elektroda dengan media korosi larutan pengganti air laut dengan salinitas 3,5% yang mengacu pada ASTM G102. Dari pengujian ini didapatkan hasil laju korosi pada pengelasan aluminium dengan kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit adalah 0,16 mmpy, untuk 20 liter/menit adalah 0,12 mmpy, dan untuk 25 liter/menit adalah 0,08 mmpy. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin besar aliran gas pelindung maka ketahanan material terhadap korosi semakin baik.

*Kata Kunci – Aluminium Seri 5050, Kecepatan aliran Gas Pelindung, GMAW, Laju Korosi.*

## **ABSTRACT**

### **COMPARATIVE ANALYSIS OF CORROSION RATE IN MARINE ENVIRONMENT OF GMAW WELDING PROCESS TO 5050 SERIES ALUMINIUM JOINT AS AN EFFECT OF SHIELDING GAS FLOW RATE VARIATION**

*Name* : Pandu Damay Putra

*REG* : 4312 100 130

*Department* : Department of Ocean Engineering, Faculty of Marine Technology, ITS

*Supervisors* : Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D

Yoyok Setyo H, S.T, MT., Ph.D.

*Nowadays, the use of aluminum in the world is rapidly growing, in particularly for shipbuilding industry for quick ships because the material is lightweight and has good resistance to corrosion. However, the thermal treatment, such as welding, will affects the microstructure of material and the corrosion resistance of material. GMAW (Gas Metal Arc Welding) is commonly used in the welding of aluminum material because it gives protection from oxidation by a gas liquefaction to the weld metal. This study aims to analyze the effect of variations in shielding gas flow rate against corrosion rate of 5050 series aluminum. Variation of shielding gas flow rate is 15, 20, and 25 liters/minute. Corrosion testing method use the assistance of three-electrode cell with corrosive media is replacement solutions of seawater with 3.5% salinity which refers to ASTM G102 as a standard. This test obtained the rate of corrosion on 5050 series aluminum GMAW welding with shielding gas flow rate of 15 liters/minute is 0.16 mmpy, 20 liters / minute is 0.12 mmpy, and 25 liters / minute is 0.08 mmpy. The test results shall be concluded that the greater shielding of a gas flow rate, hence the corrosion resistance of material is also greater.*

*Keyword- 5050 Series Aluminium, GMAW (Gas Metal Arc Welding), Shielding Gas Flow Rate, Corrosion Rate*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori .....	9
2.2.1 Pengelasan <i>Gas Metal Arc Welding</i> (GMAW) .....	9
2.2.2 Parameter Pengelasan.....	10
2.2.3 Logam Pengisi (Elektroda) .....	13
2.2.4 Logam Paduan (Aluminium).....	15
2.2.5 Pengujian <i>Non-Destructive Test Radiography</i> .....	19
2.2.6 Pengujian Metalografi .....	20
2.2.7 Pengujian Tarik .....	21
2.2.8 Uji Kekerasan.....	22
2.2.9 Larutan Pengganti Air Laut.....	23
2.2.10 Korosi .....	24

2.2.11	Korosi Pada Aluminium.....	25
2.2.12	Jenis-Jenis Korosi .....	27
2.2.13	Persamaan Laju Korosi .....	30
2.2.14	Komponen Sel Tiga Elektroda.....	32
BAB III METODOLOGI .....		36
3.1	Metode Penelitian.....	36
3.2	Penjelasan Metodologi Penelitian .....	37
3.2.1	Tahap Persiapan .....	37
3.2.2	Tahap Pengelasan.....	42
3.2.3	Tahap Inspeksi .....	43
3.2.4	Tahap Pembuatan Spesimen .....	44
3.2.5	Tahap Pengujian.....	52
3.2.6	Analisa dan Kesimpulan .....	61
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		62
4.1	<i>Welding Procedure Specification (WPS)</i> .....	62
4.1.1	Pengelasan GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 15 liter /menit .....	62
4.1.2	Pengelasan GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 20 liter /menit .....	62
4.1.3	Pengelasan GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 25 liter /menit .....	63
4.2	Hasil Pengelasan.....	63
4.3	Inspeksi Hasil Pengelasan .....	66
4.3.1	Uji Radiografi.....	66
4.4	Pengujian Metalografi .....	68
4.4.1	Hasil dan Analisa Pengujian Makro.....	68
4.4.2	Hasil dan Analisa Pengujian Mikro .....	70
4.5	Pengujian Kekerasan .....	77
4.5.1	Hasil Pengujian Kekerasan Vickers .....	77
4.5.2	Kesimpulan Pengujian Kekerasan Vickers .....	82
4.6	Pengujian Tarik .....	82
4.6.1	Hasil Pengujian Tarik.....	82

4.6.2	Kesimpulan Pengujian Tarik.....	86
4.7	Pengujian Korosi .....	86
4.7.1	Hukum Faraday .....	91
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN .....	95
5.1	Kesimpulan.....	95
5.2	Saran .....	96
DAFTAR PUSTAKA	.....	97
BIODATA PENULIS	.....	100



## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Pengelasan GMAW atau MIG (AWS, 2004) .....	9
Gambar II.2 Konstruksi Mesin Las GMAW (AWS, 2004) .....	10
Gambar II.3 Sambungan Dasar Konstruksi Las (AWS, 2004) .....	11
Gambar II.4 Posisi Pengelasan Sambungan Groove (AWS D1.2. 1997) .....	11
Gambar II.5 Detail Joint Pada Pengelasan (AWS, 2004) .....	13
Gambar II.6 Pemilihan Logam Pengisi Sesuai Logam Induk (Sumber: AWS D1.2 1997) .....	15
Gambar II.7 Diagram Fasa Al 5050 ( <a href="http://aluminium.matter.org.uk/content/html">http://aluminium.matter.org.uk/content/html</a> ) .	18
Gambar II.8 Kemunculan porositas dengan ukuran yang halus pada pengelasan (Sumber : Gene Mathers, The Welding Aluminium and its Alloy) .....	19
Gambar II.9 Skema pengujian Vickers hardness .....	23
Gambar II.10 Sel Tiga Elektroda (Trethewey and Chamberlain, 1991) .....	34
Gambar III.1 Digram alir pengerjaan tugas akhir .....	37
Gambar III.2 Persiapan material .....	38
Gambar III.3 Gambar 3.3 Double V-Groove untuk pengelasan GMAW (AWS D1.2, 1997) .....	39
Gambar III.4 Butt Joint Double V-Groove .....	39
Gambar III.5 Elektroda ER5356 .....	40
Gambar III.6 Mesin Las GMAW .....	40
Gambar III.7 Larutan Pengganti Air Laut untuk Uji Korosi.....	41
Gambar III.8 Tabung Gas Pelindung Pada Mesin Las GMAW .....	42
Gambar III.9 Tack Weld .....	43
Gambar III.10 Proses pengelasan pada material Aluminium 5050 .....	43
Gambar III.11 Radiographic Test .....	44
Gambar III.12 Tahap Pemotongan Menjadi Spesimen Lebih Kecil .....	45
Gambar III.13 Tahap Penghalusan Menggunakan Mesin Polishing.....	45
Gambar III.14 Spesimen Uji Korosi .....	46
Gambar III.15 Alat Uji Korosi (Sel Tiga Elektroda) .....	46
Gambar III.16 Ukuran Spesimen Uji Tarik (AWS D1.2, 1997) .....	47

Gambar III.17 Spesimen Uji Tarik.....	47
Gambar III.18 Mesin Uji Tarik .....	48
Gambar III.19 Spesimen Uji Metalografi dan Kekerasan.....	49
Gambar III.20 Mesin Uji Mikro.....	49
Gambar III.21 Mesin Uji Makro .....	50
Gambar III.22 Ukuran Spesimen Uji Kekerasan (ASTM E92) .....	51
Gambar III.23 Mesin Uji Kekerasan.....	51
Gambar III.24 Mesin Potong.....	54
Gambar III.25 Penghalusan spesimen uji tarik dengan gerinda.....	54
Gambar III.26 Peletakkan spesimen pada alat uji.....	55
Gambar III.27 Mesin potong.....	56
Gambar III.28 Penghalusan spesimen dengan mesin polisher.....	57
Gambar III.29 Pengolesan spesimen dengan cairan etsa .....	57
Gambar III.30 Uji makro.....	57
Gambar III.31 Mikroskop untuk uji mikro .....	58
Gambar III.32 Monitor hasil uji mikro .....	58
Gambar III.33 Peletakkan spesimen pada alat uji kekerasan vickers .....	60
Gambar III.34 Hasil yang didapat dari alat uji kekerasan vickers .....	60
Gambar IV.1 Plat aluminium seri 5050 dengan kampuh double V sebelum dilakukan pengelasan .....	63
Gambar IV.2 Hasil pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 15 liter/menit.....	64
Gambar IV.3 Hasil pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 20 liter/menit.....	64
Gambar IV.4 Hasil pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 25 liter/menit.....	65
Gambar IV.5 Film hasil radiografi pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 15 liter/menit .....	66
Gambar IV.6 Film hasil radiografi pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 20 liter/menit .....	67

Gambar IV.7 Film hasil radiografi pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 25 liter/menit .....	67
Gambar IV.8 Hasil foto makro pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 15 liter/menit .....	68
Gambar IV.9 Hasil foto makro pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 20 liter/menit .....	69
Gambar IV.10 Hasil foto makro pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 25 liter/menit .....	69
Gambar IV.11 Plotting grid untuk penghitungan presentase mikrostruktur dengan metode point counting.....	71
Gambar IV.12 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit (logam induk) ....	72
Gambar IV.13 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit (logam induk) ....	72
Gambar IV.14 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit (logam induk) ....	73
Gambar IV.15 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit (HAZ) .....	73
Gambar IV.16 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit (HAZ) .....	74
Gambar IV.17 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit (HAZ) .....	74
Gambar IV.18 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit (logam lasan) .....	75
Gambar IV.19 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit (logam lasan) .....	75
Gambar IV.20 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit (logam lasan) .....	76
Gambar IV.21 Gambar perbandingan rata-rata presentase hasil uji mikro.....	77
Gambar IV.22 Titik uji kekerasan vickers .....	78

Gambar IV.23 Spesimen uji kekerasan .....	78
Gambar IV.24 Perbandingan grafik harga kekerasan vickers HVN bagian atas spesimen variasi aliran gas pelindung 15, 20, dan 25 liter/menit .....	79
Gambar IV.25 Perbandingan grafik harga kekerasan vickers HVN bagian tengah spesimen variasi aliran gas pelindung 15, 20, dan 25 liter/menit .....	80
Gambar IV.26 Perbandingan grafik harga kekerasan vickers HVN bagian bawah spesimen variasi aliran gas pelindung 15, 20, dan 25 liter/menit .....	81
Gambar IV.27 Bentuk standar material alumunium yang akan dilakukan uji tarik....	83
Gambar IV.28 Spesimen sebelum dilakukan uji tarik .....	83
Gambar IV.29 Spesimen setelah dilakukan uji tarik.....	83
Gambar IV.30 Perbandingan grafik F Yield dan F Ultimate spesimen variasi kecepatan aliran gas pelindung 15, 20, dan 25 liter/menit.....	84
Gambar IV.31 Perbandingan grafik Yield Strength dan Ultimate Strength spesimen variasi aliran gas pelindung 15, 20, dan 25 liter/menit .....	85
Gambar IV.32 Data yang harus dimasukkan sebelum analisa.....	87
Gambar IV.33 Contoh diagram tafel dan hasil analisa .....	87
Gambar IV.34 Rata-rata diagram tafel spesimen.....	88
Gambar IV.35 Diagram perbandingan rata-rata $i_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ ) setiap variasi .....	90
Gambar IV.36 Diagram perbandingan rata-rata laju korosi (mmpy) setiap variasi....	91

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Tabel penggolongan dari paduan aluminium dengan komposisi kimianya (Sumber : ASM Metals Handbook Volume 09 Edition 02).....	16
Tabel II.2 Komposisi kimia pengganti air laut (g/L) (Sumber: ASTM D1141-98)....	24
Tabel II.3 Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi (Sumber: Fontana, 1987) .....	31
Tabel III.1 Komposisi kimia pengganti air laut (g/L) (Sumber: ASTM D1141-98) ..	41
Tabel IV.1 Hasil proses pengelasan menggunakan metode GMAW .....	65
Tabel IV.2 Hasil proses pengelasan menggunakan metode GMAW .....	65
Tabel IV.3 Hasil proses pengelasan menggunakan metode GMAW .....	66
Tabel IV.4 Tabel rata-rata presentase hasil uji mikro .....	76
Tabel IV.5 Hasil pengujian kekerasan vickers bagian atas spesimen .....	78
Tabel IV.6 Hasil pengujian kekerasan vickers bagian tengah spesimen .....	79
Tabel IV.7 Hasil pengujian kekerasan vickers bagian bawah spesimen.....	81
Tabel IV.8 Hasil F Yield dan F Ultimate Pengujian Tarik Spesimen.....	84
Tabel IV.9 Hasil Yield Strength dan Ultimate Strength pengujian tarik spesimen ....	85
Tabel IV.10 Hasil pengujian korosi menggunakan software NOVA .....	89
Tabel IV.11 Hasil pengujian korosi menggunakan hukum faraday.....	92

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pembangunan konstruksi kapal dengan material aluminium mengalami perkembangan yang cukup signifikan. Selain karena material ini ringan, aluminium juga mempunyai sifat resistensi terhadap korosi yang baik hal ini disebabkan karena terjadinya fenomena pasivasi. Fenomena pasivasi adalah terbentuknya lapisan aluminium oksida ketika aluminium terpapar dengan udara bebas, lapisan oksida ini yang mencegah terjadinya oksidasi lebih lanjut (Amantyo & Daryanto, 2006), sehingga material ini banyak dikembangkan untuk kapal-kapal cepat dan kapal militer.

Aluminium terdiri dari beberapa kelompok yang dibedakan berdasarkan paduan penyusunnya. Penambahan paduan ini akan menghasilkan sifat yang berbeda pula. Aluminium 5050 merupakan paduan aluminium dengan magnesium (Mg), paduan ini memiliki sifat tidak dapat diperlaku-panaskan, tetapi memiliki sifat yang baik dalam daya tahan korosi terutama korosi oleh air laut. Al-Mg banyak dipakai untuk konstruksi umum termasuk konstruksi kapal. (Suherman, 1987). Namun paduan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik dalam hal pengelasan bila dibandingkan dengan baja. (Wiryosumarto dan Okumura, 1986)

Proses pengelasan biasanya digunakan untuk fabrikasi dalam aplikasi teknik, misalnya untuk pesawat terbang, otomotif, dan industri perkapalan. Terlepas dari sifat mampu las aluminium, perkembangan teknologi pengelasan berjalan dengan pesat. Terutama pengelasan busur listrik dengan pelindung gas mulia, telah menjadikan sifat mampu las aluminium menjadi lebih baik. Proses pengelasan yang sering digunakan untuk pengelasan aluminium adalah *gas metal arc welding* (GMAW) atau yang lebih dikenal dengan las *metal inert gas* MIG. Jenis las ini sangat baik untuk menyambung logam aluminium karena proses las ini menggunakan prinsip di lingkungan gas

mulia yang dilengkapi *consumable metal electrode*, di mana elektroda ini gunanya untuk menyalakan busur listrik. Gas pelindung yang digunakan pada pengelasan GMAW atau MIG adalah argon, helium atau campuran di antara keduanya. Fungsi dasar dari gas pelindung adalah melindungi busur dan logam las cair dari kontaminasi oksigen dan nitrogen yang ada pada atmosfer. Jika aliran gas pelindung tidak tepat melindungi logam las cair maka akan dihasilkan cacat las seperti porositas, *slag inclusion*, *embrittlement*. Maka akan menyebabkan perubahan struktur mikro, sehingga terjadi perubahan sifat mekanis hasil lasan. (Wiryosumarto dan Okumura, 1986).

Proses pengelasan, pada dasarnya memiliki tujuh macam sambungan, yaitu: *butt joint*, *backing joint*, *T joint*, *Cross joint*, *overlap joint*, *corner joint*, dan *edge joint*. Sambungan-sambungan tersebut memiliki karakteristik sendiri-sendiri tergantung kondisi material yang dikerjakan. Sedangkan untuk posisi pengelasan ada beberapa jenis, yaitu *flat*, *horizontal*, *vertical*, dan *overhead* (ASME section IX, 2001).

Namun Pengerjaan panas seperti proses pengelasan memberikan pengaruh terhadap laju korosi yang terjadi pada material aluminium. Panas yang timbul selama proses pengelasan dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur pada daerah terpengaruh panas (HAZ=*Heat Affected Zone*) (Febrianto dkk, 2000). Pada studi eksperimen ini diteliti bagaimana hasil perbandingan dari proses pengelasan metode GMAW terhadap laju korosi pada sambungan aluminium seri 5050 di lingkungan laut dengan variasi kecepatan aliran gas pelindung.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan masalah yang akan dibahas di studi ini adalah

1. Bagaimana pengaruh struktur mikro, kekerasan dan tegangan maksimum material terhadap tingkat laju korosi?
2. Berapa besar nilai laju korosi tertinggi dan terendah pada variasi kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit, 20 liter/menit dan 25 liter/menit pada aluminium seri 5050?
3. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan aliran gas pelindung pada pengelasan GMAW terhadap laju korosi sambungan pada aluminium seri 5050?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai di studi ini adalah

1. Mengetahui pengaruh struktur mikro, kekerasan dan tegangan maksimum material terhadap tingkat laju korosi.
2. Mengetahui besar nilai laju korosi tertinggi dan terendah pada variasi kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit, 20 liter/menit dan 25 liter/menit pada aluminium seri 5050
3. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan aliran gas pelindung pada pengelasan GMAW terhadap laju korosi sambungan pada aluminium seri 5050.

## **1.4 Manfaat**

Manfaat yang didapat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk memberikan informasi tentang pengaruh variasi kecepatan aliran gas pelindung terhadap laju korosi pengelasan GMAW terhadap aluminium seri 5050, memberikan masukan sebagai bahan pertimbangan penentuan kecepatan aliran gas pelindung pengelasan yang baik untuk diterapkan pada sambungan aluminium seri 5050 pengelasan GMAW ditinjau dari hasil pengujian laju korosi.



## 1.5 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari pembahasan yang melebar sehingga dilakukan asumsi sebagai berikut:

1. Jenis material yang digunakan adalah aluminium seri 5050 dengan panjang material 300 mm dan lebar 150 mm.
2. Ketebalan setiap spesimen yaitu 12 mm
3. Proses pengelasan menggunakan metode GMAW dengan elektroda ER5356 tebal 1.2 mm
4. Posisi pengelasan adalah 1G dengan jenis sambungan *double v groove butt joint*.
5. Arus yang digunakan adalah 140-160 A untuk pengelasan metode GMAW.
6. Tegangan yang digunakan adalah 21-24 V untuk pengelasan metode GMAW
7. Gas pelindung yang digunakan pada proses pengelasan GMAW adalah gas Argon (Ar).
8. Prosedur pengelasan dan pengujian berdasarkan AWS D1.2 dan ASTM.
9. *Human error* diabaikan.
10. Parameter pengujian yang digunakan pada eksperimen kali ini adalah pengamatan metalografi, uji tarik (*tensile test*) dan uji kekerasan (*hardness test*) metode *vickers*.
11. Perhitungan laju korosi menggunakan metode elektrolisis sel tiga elektroda dengan media pengkorosif *Sodium Chloride* (NaCl) 3,5%.
12. Pengujian korosi berdasarkan standard ASTM G-102.

## 1.6 Sistematika Penulisan

### 1. Bab I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian, manfaat yang diperoleh, serta ruang lingkup penelitian untuk membatasi analisis yang dilakukan.

### 2. Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini berisi referensi dan juga teori-teori pendukung yang digunakan sebagai acuan atau pedoman dalam menyelesaikan tugas akhir. Referensi tersebut bersumber pada jurnal lokal maupun internasional, literatur, *code*, dan juga buku yang berkaitan dengan topik yang dibahas.

3. Bab III Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang alur pengerjaan tugas akhir dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis yang dilengkapi pula dengan data-data penelitian serta penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya.

4. Bab IV Analisis dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang pengolahan data yang diperoleh dari semua hasil pengujian yang dilakukan.

5. Bab V Penutup

Bab ini berisi simpulan yang merupakan uraian singkat dari keseluruhan hasil analisis. Uraian singkat ini diharapkan bisa menjawab rumusan masalah yang ada. Pada bab ini terdapat pula saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian terkait kedepannya.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pada bidang industri maritim, pengelasan adalah salah satu bagian yang sangat penting. Salah satu contoh pada galangan kapal untuk sambungan pelat dibuat dengan proses pengelasan. Pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan pada keadaan lumer atau cair. Dari definisi di atas dapat dijabarkan bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. (Wiryosumarto dan Okumura, 1986)

*Gas Metal Arc Welding* (GMAW) adalah proses las listrik yang menggunakan busur listrik yang berasal dari elektroda yang dipasok terus menerus secara tetap dari suatu mekanisme ke kolam las. Untuk mencegah terjadinya oksidasi, pengelasan ini dilindungi oleh aliran gas pelindung yang dapat berupa gas aktif, misalnya gas *inert* (misalnya argon) sehingga disebut *Metal Inert Gas* (MIG), karenanya GMAW juga disebut pengelasan MIG (Widharto, 2007). Daerah pengelasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam las, *Heat Affected Zone* (HAZ), dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan perubahan sifat. (Surdia, 1995)

Paduan aluminium dapat digolongkan menjadi aluminium *Wrought Alloy* dan *Casting Alloy*. Aluminium *Wrought Alloy* merupakan paduan aluminium yang dapat mengalami pengerjaan panas (*heat treatment*) dan pengerjaan dingin (*cold working*), dengan kata lain paduan ini dapat mengalami deformasi plastis. Paduan aluminium yang diproduksi dalam bentuk *wrought*

yaitu *sheet, plate, extrusion, rod, wire* dan diklasifikasikan menurut unsur utama logam paduannya. Tiap-tiap jenis paduan diberi kode dengan empat digit angka. Digit pertama (Xxxx) menunjukkan jenis paduan aluminium berkaitan dengan kemurnian aluminium atau jenis unsur paduan utama. Digit kedua (xXxx) menunjukkan modifikasi dari paduan orisinil. Digit 0 untuk paduan orisinil dan digit 1 sampai 9 untuk modifikasi. Digit ketiga dan keempat (xxXX) merupakan identitas campuran khusus paduan utama. Pada paduan 5050, angka 5 menunjukkan jenis paduannya adalah magnesium, angka 0 merupakan modifikasi pertama dari 5050, dan angka 50 merupakan identifikasi pada 5050 (Sonawan dkk, 2003).

Paduan aluminium 5050 merupakan paduan dengan tingkat ketahanan korosi yang paling baik dibandingkan dengan paduan aluminium lainnya dengan 2-3% Mg dapat mudah ditempa, dirol dan diekstrusi. Paduan Al-Mg umumnya *non heat treatable* atau material yang tidak dapat berubah kekuatan mekaniknya dengan perlakuan panas.

Paduan ini juga umum digunakan untuk perancangan bahan bodi kapal, peralatan dan kendaraan bawah laut, dll. Maka dari itu, aluminium seri 5 ini biasa disebut sebagai *marine used*. (Sonawan dkk, 2003)

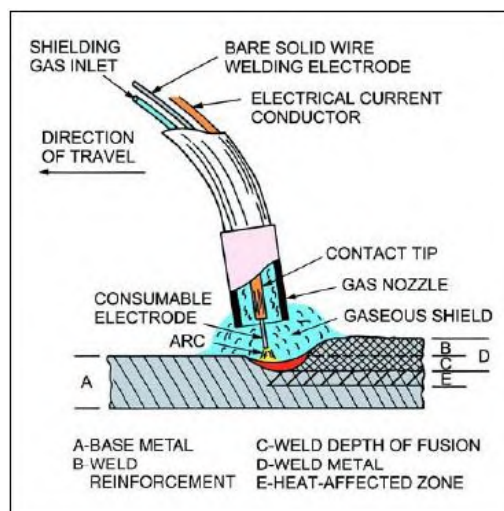
Proses pengelasan memberikan pengaruh terhadap laju korosi yang terjadi pada material aluminium paduan. Panas yang timbul selama proses pengelasan dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur pada daerah terpengaruh panas (HAZ=*Heat Affected Zone*). Biasanya pada daerah logam induk butirannya lebih kecil sedangkan pada daerah yang mendekati/terpengaruh panas butiran relatif lebih besar. Pembesaran butir-butir aluminium akibat panas pengelasan dapat menurunkan kekuatan dan ketahanan korosi material. (Febrianto dkk. 2000)

Definisi dari korosi adalah kerusakan atau penurunan mutu dari material akibat bereaksi dengan lingkungan, dalam hal ini adalah interaksi secara kimiawi. Sedangkan penurunan mutu yang diakibatkan interaksi secara fisik bukan disebut korosi, namun biasa dikenal sebagai erosi dan keausan. (Fontana, 1987).

## 2.2 Dasar Teori

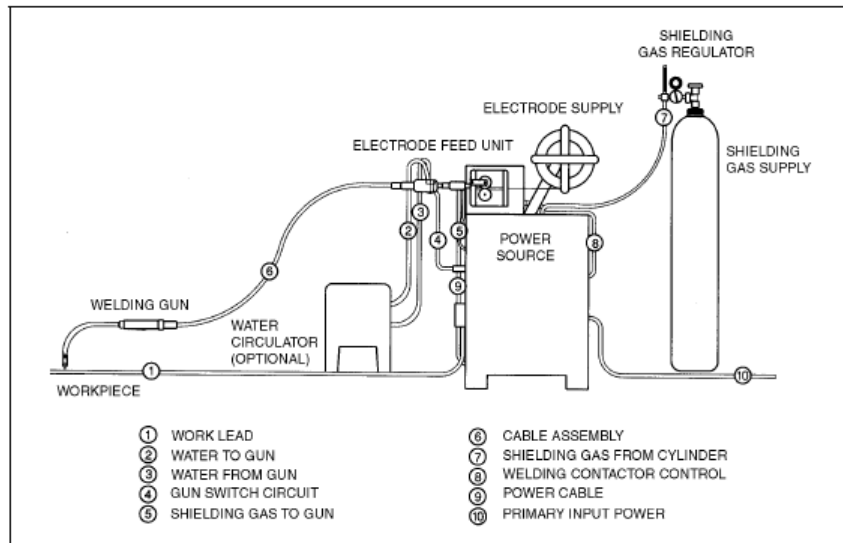
### 2.2.1 Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Pada bidang industri maritim, pengelasan adalah salah satu bagian yang sangat penting. Nama lain dari proses pengelasan ini adalah *metal inert gas* (MIG) dimana kawat elektroda yang digunakan tidak terbungkus dan sifat suplainya yang terus menerus. Daerah lasan terlindung dari atmosfer melalui gas yang dihasilkan dari alat las tersebut, seperti terlihat pada gambar 2.1. (AWS, 2004). Gas pelindung yang digunakan adalah gas argon, helium atau campuran dari keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas O<sub>2</sub> antara 2 sampai 5% atau CO<sub>2</sub> antara 5 sampai 20% (Wiryosumarto, 1996)



Gambar II.1 Pengelasan GMAW atau MIG (AWS, 2004)

Pada pengelasan elektroda yang digunakan pada pengelasan ini harus bersih dari kotoran yang nantinya dapat menimbulkan cacat. Karena bisa saja porositas yang timbul pada pengelasan ini karena adanya uap air yang berada pada elktrodanya. Elektroda dalam las MIG biasanya diumpankan secara otomatis, sedangkan alat pembakarnya digerakkan dengan tangan. Dengan ini tercipta suatu alat las semi otomatis di mana konstruksinya dalam dilihat pada Gambar II.2



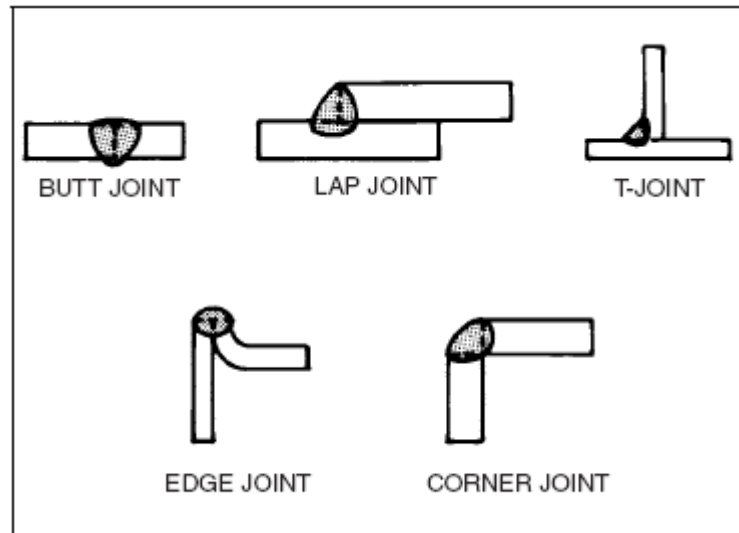
Gambar II.2 Konstruksi Mesin Las GMAW (AWS, 2004)

## 2.2.2 Parameter Pengelasan

### 2.2.2.1 Bentuk Sambungan Las

Sambungan (*joint*) merupakan pertemuan dari beberapa komponen atau sisi dari suatu komponen yang disatukan. Terdapat lima jenis sambungan las dasar yaitu:

- Butt joint* merupakan sambungan di mana kedua benda kerja berada pada bidang yang sama dan disambung pada ujung kedua benda kerja yang saling berdekatan.
- Lap joint* merupakan sambungan yang terdiri dari dua benda kerja yang saling bertumpukkan.
- T-joint* merupakan sambungan di mana salah satu benda kerja tegak lurus dengan benda kerja lainnya sehingga membentuk huruf “T”.
- Edge joint* merupakan sambungan di mana kedua benda kerja sejajar satu sama lain dengan catatan salah satu ujung dari kedua benda kerja tersebut berada pada tingkat yang sama.
- Corner joint* merupakan sambungan di mana kedua benda kerja membentuk sudut sehingga keduanya dapat disambung pada bagian pojok dari sudut tersebut.

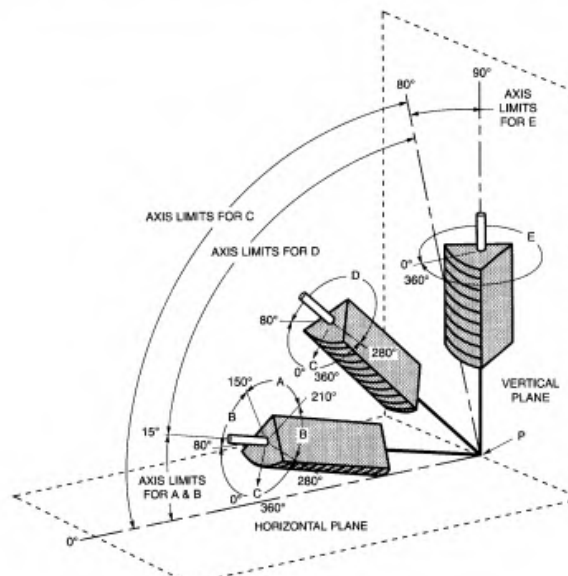


Gambar II.3 Sambungan Dasar Konstruksi Las (AWS, 2004)

#### 2.2.2.2 Posisi Pengelasan

Posisi pada pengelasan terdiri dari empat posisi utama pengelasan berdasarkan tingkat kesulitannya, hal ini bisa dilihat pada gambar II.4

Position	Diagram Reference	Inclination of Axis	Rotation of Face
Flat	A	0° to 15°	150° to 210°
Horizontal	B	0° to 15°	80° to 150° 210° to 280°
Overhead	C	0° to 80°	0° to 80° 280° to 360°
Vertical	D	15° to 80°	80° to 280°
	E	80° to 90°	0° to 360°



Gambar II.4 Posisi Pengelasan Sambungan Groove (AWS D1.2. 1997)



a. Posisi bawah tangan (*flat*) 1 G

Posisi ini terjadi apabila benda kerja terletak diatas bidang datar dan proses pengelasan berlangsung di bawah tangan. Posisi kerap digunakan oleh operator, dikarenakan benda kerja akan mudah untuk dikerjakan karena posisi benda kerja datar, sehingga hasil pengelasan akan lebih baik.

b. Posisi mendatar (*horizontal*) 2 G

Pada posisi ini benda kerja berdiri tegak, sedangkan pengelasannya berjalan arah mendatar (*horizontal*) sejajar dengan pundak operator. Hasil pengelasannya biasanya akan sedikit menurun bila dibandingkan dengan posisi *flat*.

c. Posisi Tegak (*vertical*) 3 G

Posisi ini lebih sulit pengerjaannya, karena adanya gaya berat cairan bahan pengisi dan bahan dasar. Pada posisi ini benda kerja berdiri tegak dan pengelasan juga berjalan tegak dengan arah naik turun. Untuk mendapatkan pengelasan yang baik dibutuhkan kecakapan sang operator.

d. Posisi atas kepala (*over head*) 4 G

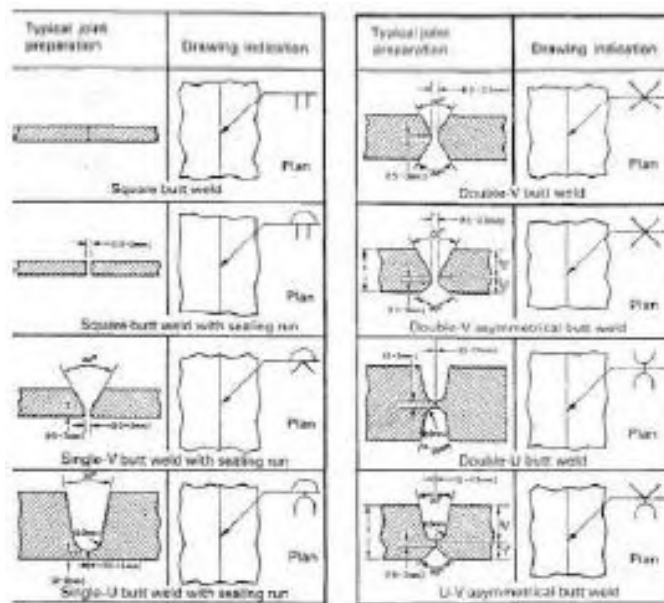
Untuk posisi yang sulit ini operator sudah harus berpengalaman dalam soal mengelas. Selain itu dalam pengelasan posisi ini harus memakai pakaian las lengkap dengan kelengkapan lain yang berhubungan dengan keselamatan kerja. Pada pengelasan posisi over head benda kerja terletak diatas operator dan pengelasannya dilakukan dibawahnya.

### 2.2.2.3 Pembentukan Kampuh Las

Pengerjaan sambungan atau kampuh las terdiri dari 4 jenis yaitu sambungan kampuh sisi, sambungan berimpit, sambungan sudut dan sambungan T. Sambungan atau kampuh menumpu adalah sambungan las

yang dilakukan dengan jalan mengelas bagian tepi atau ujung dari logam yang akan dilas.

Adapun sambungan atau kampuh menumpu terdiri dari sambungan I, V, X,  $\frac{1}{2}$  V,  $\frac{1}{2}$  X, dan U. Kampuh V digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya antara 6 - 16 mm, di mana sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan tertutup. Kampuh V terbuka digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 6-16 mm dengan sudut kampuh  $60^{\circ}\text{C}-80^{\circ}\text{C}$  dan jarak/celah kampuh sekitar 2 mm serta tinggi dasar sampai sudut kampuh 1-2 mm. Pada waktu mengelas kampuh V terbuka diberi plat penahan cairan sepanjang kampuh yang gunanya untuk mencegah cairan bertumpuk disebelah bawah kampuh dan plat penahan tersebut dapat dibuka bila diperlukan. Sambungan kampuh V tertutup digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 8-16 mm dengan sudut kampuh dan tinggi dari dasar sampai dasar sudut kampuh dibuat sama dengan sambungan kampuh V terbuka.



Gambar II.5 Detail Joint Pada Pengelasan (AWS, 2004)

### 2.2.3 Logam Pengisi (Elektroda)

Elektroda terbungkus pada umumnya digunakan dalam pelaksanaan pengelasan tangan. Di negara-negara industri, elektroda las terbungkus

sudah banyak yang di standarkan berdasarkan penggunaannya. Standarisasi elektroda dalam AWS (American Welding Society) didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las dan dinyatakan dengan tanda EXXXX, yang artinya sebagai berikut:

- E : Menyatakan elektroda las busur listrik
- XX : Dua angka sesudah E menyatakan kekuatan tarik (ksi)
- X : Angka ketiga menyatakan posisi pengelasan, yaitu:
  - Angka 1 untuk pengelasan segala posisi
  - Angka 2 untuk pengelasan posisi datar dan dibawah tangan
  - Angka 3 untuk pengelasan posisi dibawah tangan
- X : Angka keempat menyatakan jenis selaput dan arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

Recommended Aluminum Alloy Fillet Metals For Structural Welding of Various Base Aluminum Alloys <sup>1,2,3</sup> (see 1.3.2.1)													
Base Metal to Base Metal	1060 1100 3003 Alclad 3003	2219 A201.0	3004 Alclad 3004	5005 5050	5052 5652 <sup>3</sup>	5083 5456	5086 514.0 535.0	5154 5254 <sup>3</sup>	5454	6001 Alclad 6001 6063 6351	7005	354.0 C355.0	356.0 A356.0 357.0 A357.0 359.0 A444.0
356.0, A356.0, 357.0, A357.0, 359.0, 443.0, A444.0 354.0, C355.0	4043 (8)	4145 (5), (8)	4043 (8)	4043 (8)	4043 (4), (8)	5356 (7)	5356 (7)	4043 (4)	4043 (4)	4043 (8), (9)	4043 (8)	4145 (5), (6), (8)	4043 (6), (8), (9)
7005	4145 (5), (8)	4145 (5), (8), (10)	4145 (5), (8)	4145 (5), (8)	4043 (8)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	4145 (5), (8)	4145 (5), (6), (8)
6005, 6061, Alclad 6061, 6063, 6351	5356 (5), (7)	4145 (5), (8)	5356 (5), (7)	5356 (5), (7)	5356 (4)	5556 (7)	5356 (7)	5356 (4)	5356 (4)	5356 (4), (5), (8)	5356 (7)	5356 (5), (6), (8)	5356 (5), (6), (8)
5454	4043 (7), (8)	4145 (5), (8)	5356 (4), (5)	4043 (7), (8)	5356 (4), (5)	5356 (4), (5)	5356 (7)	5356 (4)	5356 (4)	5356 (4), (5)	4043 (4), (8), (11)	5356 (4), (8), (11)	5356 (4), (8), (11)
5154, 5254 <sup>3</sup>	4043 (7), (8)	NR	5356 (4), (5)	5356 (4), (5)	5356 (4), (5)	5356 (4), (5)	5356 (7)	5356 (4)	5356 (4)	5356 (4), (5)	5356 (4), (8), (11)	5356 (4), (8), (11)	5356 (4), (8), (11)
5086, 514.0, 535.0	5356 (7)	NR	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)
5083, 5456	5356 (7)	NR	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (7)
5052, 5652 <sup>3</sup>	4043 (7), (8)	4043 (8)	4043 (7), (8)	4043 (7), (8)	4043 (4), (5)	5356 (7)	5356 (7)	5356 (4)	5356 (4)	5356 (4), (5)	5356 (4), (8), (11)	5356 (4), (8), (11)	5356 (4), (8), (11)
5005, 5050	4043 (8), (11)	4145 (5)	4043 (7), (8)	4043 (8), (11)	4043 (8), (11)	4043 (8), (11)	4043 (8), (11)	4043 (8), (11)	4043 (8), (11)	4043 (8), (11)	4043 (8), (11)	4043 (8), (11)	4043 (8), (11)
3004, Alclad 3004	4043 (7), (8)	4145 (5)	4043 (7), (8)	4043 (7), (8)	4043 (7), (8)	4043 (7), (8)	4043 (7), (8)	4043 (7), (8)	4043 (7), (8)	4043 (7), (8)	4043 (7), (8)	4043 (7), (8)	4043 (7), (8)
2219, A201.0	4145 (5), (8)	2319 (5), (8), (9)	4145 (5), (8), (9)	4145 (5), (8), (9)	4145 (5), (8), (9)	4145 (5), (8), (9)	4145 (5), (8), (9)	4145 (5), (8), (9)	4145 (5), (8), (9)	4145 (5), (8), (9)	4145 (5), (8), (9)	4145 (5), (8), (9)	4145 (5), (8), (9)
1060, 1100, 3003, Alclad 3003	1100 (5), (6), (8), (12)												

Note: Numbers in parentheses refer to Notes 1 through 13.

- The filler alloy shown for each combination of base metals is that most commonly used and will satisfy the tensile strength requirements of Table 4.2. However, the specific filler alloy depends upon usage and type of joint, and in a number of cases, acceptable alternates may be used [Notes (4)–(13)], but they may not satisfy the tensile strength requirement of Table 4.2. When NR is indicated, welding that combination of base alloys is not recommended.
- Filler metals shall conform to the requirements of ANSI/AWS A5.10.
- Exposure to specific chemicals or a sustained high temperature [over 1500°F (660°C)] may limit the choice of filler metals. Filler alloys 5183, 5356, 5556, and 5654 should not be used for sustained elevated temperature service. Filler alloy 5654 is suitable for use with base alloys 5652 and 5254 for hydrogen peroxide service.
- 5183, 5356, 5554, 5556, 5654 may be used. In some cases, they provide (1) improved color match after anodizing treatment, (2) higher weld ductility, and (3) higher weld strength. 5554 is suitable for elevated temperature service.
- 4043 may be used for some applications.
- Filler with the same analysis as the base-metal alloy is sometimes used.
- 5183, 5356, or 5556 may be used.
- 4047 may be used for some applications.
- 4145 may be used.
- 2319 may be used.
- 1100 may be used.
- 1188 may be used.
- 4643 may be used. This is useful primarily where 1/2 in. (13 mm) and thicker weldments are post weld solution heat treated and precipitation hardened.

Gambar II.6 Pemilihan Logam Pengisi Sesuai Logam Induk (Sumber: AWS D1.2 1997)

## 2.2.4 Logam Paduan (Aluminium)

Logam paduan yang termasuk dalam kelompok yang tidak dapat diperlaku panaskan adalah jenis Al murni, Al-Mg ,Al-Si, dan Al-Mn. Sedang kelompok yang dapat diperlaku-panaskan masih dibagi lagi dalam jenis perlakuan panasnya yaitu anil-temper (O-temper), pengerasan regang (H-temper), pengerasan alamiah dan pengerasan buatan. (Okumura Wiryosumarto. 1994). Tabel 2.2 menunjukkan sifat umum dari beberapa jenis paduan:

Tabel II.1 Tabel penggolongan dari paduan aluminium dengan komposisi kimianya (Sumber : ASM Metals Handbook Volume 09 Edition 02)

Alloy group	Nominal chemical composition <sup>(a)</sup> , wt%										
	Mg	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Zr	Other
<b>Wrought alloys</b>											
1xxx (Al > 99.00%)	0.006–0.25	0.006–0.7	0.002–0.06	0.01–0.03	0.002–0.05	0.006–0.6	...	0.006–0.35	0.006–0.05	...	...
2xxx (Cu)	0.02–0.8	0.10–1.3	0.02–0.3	0.05–0.2	0.05–1.3	0.12–1.3	0.05–2.3	0.8–6.8	0.10–0.80	0.05–0.5	...
3xxx (Mn)	0.05–1.3	0.3–1.8	0.05–0.10	0.05–0.40	0.05–1.8	0.1–1.0	0.05	0.05–0.50	0.05–1.0	0.1–0.5	...
4xxx (Si)	0.05–2.0	0.8–13.5	0.04–0.30	0.05–0.25	0.03–1.5	0.20–1.0	0.15–1.3	0.05–1.5	0.05–0.25	...	...
5xxx (Mg)	0.2–5.6	0.08–0.7	0.05–0.20	0.05–0.35	0.03–1.4	0.10–0.7	0.03–0.05	0.03–0.35	0.05–2.8	...	...
6xxx (Mg + Si)	0.05–1.5	0.20–1.8	0.08–0.20	0.03–0.035	0.03–1.0	0.08–1.0	0.2	0.10–1.2	0.05–2.4	0.05–0.20	...
7xxx (Zn)	0.10–3.7	0.10–0.50	0.03–0.15	0.04–0.35	0.02–1.5	0.10–0.70	0.10	0.05–2.6	0.8–8.7	0.05–0.18	...
8xxx (other element)	0.02–1.4	0.10–1.0	0.08–0.2	0.01–0.2	0.02–1.0	0.10–2.0	0.2–1.3	0.03–2.2	0.03–1.8	0.04–0.16	Li, B, Sn, Ga

Jenis Al-murni (seri 1xxx)

Jenis ini adalah aluminium dengan kemurnian antara 99,0 % dan 99,9 %. Aluminium dalam seri ini di samping sifatnya yang baik dalam tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik juga memiliki sifat yang memuaskan dalam mampu-las dan mampu-potong. Hal yang kurang menguntungkan adalah kekuatannya yang rendah.

#### Jenis paduan Al-Cu (seri 2xxx)

Jenis ini adalah jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Dengan melalui pengerasan endap atau penyepuhan sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah bila dibanding dengan jenis paduan yang lainnya. Sifat mampu-lasnya juga kurang baik, karena itu paduan jenis ini biasanya digunakan pada konstruksi keeling dan banyak sekali digunakan dalam konstruksi pesawat terbang.

#### Jenis paduan Al-Mn (seri 3xxx)

Paduan ini adalah jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan sehingga menaikkan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Dibandingkan dengan jenis Al-murni paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya. Dalam hal kekuatan jenis ini lebih unggul dari pada jenis Al-murni.

#### Jenis paduan Al-Si (seri 4xxx)

Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Karena sifat tersebut maka, paduan jenis ini banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan aluminium baik paduan cor maupun tempa.

#### Jenis paduan Al-Mg (seri 5xxx)

Jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlak-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu-lasnya. Paduan ini banyak digunanakan tidak hanya dalam konstruksi umum tetapi juga untuk tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

#### Jenis paduan Al-Mg-Si (seri 6xxx)

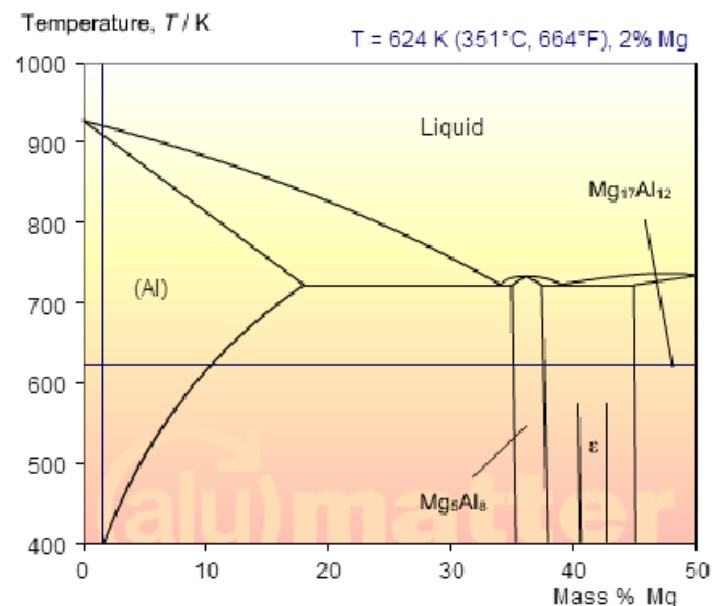
Paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu-potong, mampu-las dan daya tahan korosi yang

cukup. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul.

Jenis paduan Al-Zn (seri 7xxx)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 50 kg/mm<sup>2</sup>, sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralium. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu-las dan daya tahan terhadap korosi kurang menguntungkan. Dalam waktu akhir-akhir ini paduan Al-Zn-Mg mulai banyak digunakan dalam konstruksi las, karena jenis ini mempunyai sifat mampu las dan tahan korosi yang lebih baik dari paduan dasar Al-Zn. Di samping itu juga pelunakan pada daerah las dapat mengeras kembali karena pengerasan ilmiah. Aluminium seri 5050 dalam penelitian ini merupakan salah satu yang sering dijumpai dalam industri maritim.

#### Al-Mg Phase Diagram



Gambar II.7 Diagram Fasa Al 5050

(<http://aluminium.matter.org.uk/content/html>)

Permasalahan dalam proses pengelasan aluminium 5050 yang sangat rentan terjadi antara lain terjadi adanya porositas pada hasil pengelasan pada aluminium ini. Porositas adalah masalah yang terbatas di dalam logam lasan. Hal ini muncul akibat adanya gas yang terjebak di dalam proses pembekuan logam lasan sehingga membentuk seperti gelembung udara yang menjadi padat di dalam logam lasan. Porositas dapat berkisar dalam bentuk halus (micro fine porosity) sampai pada bentuk kasar dengan diameter sebesar 3 – 4 mm. Dalam kasus porositas ini yang sangat mempengaruhi adalah hidrogen. Hidrogen memiliki sifat kelarutan yang tinggi dalam aluminium cair tetapi kelarutannya rendah dalam padatan. Hal ini dapat digambarkan dalam Gambar 2.7. Hal ini menunjukkan penurunan dalam urutan sebanyak 20 kali selama proses pembekuan berlangsung, penurunan kelarutan begitu jelas sehingga sangat sulit untuk menghasilkan pengelasan bebas porositas sama sekali dalam proses pengelasan aluminium (Gene, 2002).



Gambar II.8 Kemunculan porositas dengan ukuran yang halus pada pengelasan (Sumber : Gene Mathers, *The Welding Aluminium and its Alloy*)

#### **2.2.5 Pengujian *Non-Destructive Test Radiography***

Radiografi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pengujian *Non-Destructive Test* (NDT). Yang dimaksud dengan pengujian tanpa merusak adalah pengujian bahan dengan tidak merusak bahan yang diuji baik sifat fisik maupun kimia dari bahan tersebut, selama dan setelah pengujian tidak mengalami perubahan. Tujuannya untuk mengetahui kualitas barang atau bahan yang merupakan salah satu cara pengendalian



dalam memenuhi standard yang ditetapkan. Pengujian dengan metode radiografi merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam NDT. Metode radiografi mempunyai daya penetrasi dan penyerapan dari radiasi sinar-x dan sinar  $\gamma$  (gamma), maka radiografi dapat digunakan untuk memeriksa pada sambungan las.

Keuntungan dari pemeriksaan radiografi meliputi:

- a. Dapat digunakan untuk berbagai material
- b. Menghasilkan visual image yang permanen
- c. Dapat memperlihatkan kondisi asli bagian dalam material
- d. Dapat memperlihatkan bentuk cacat.

Kerugian / keterbatasan dari pemeriksaan radiografi meliputi :

- a. Tidak praktis digunakan pada spesimen – spesimen yang mempunyai bentuk geometris beragam / kompleks
- b. Pertimbangan keselamatan dan kesehatan dari bahaya yang ditimbulkan sinar x dan sinar  $\gamma$  (gamma) harus dipikirkan
- c. Peralatan yang digunakan relatif mahal
- d. Memerlukan operator yang benar-benar pengalaman
- e. Setiap operator atau pekerja harus berlisensi

#### **2.2.6 Pengujian Metalografi**

Metalografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam dan paduannya serta hubungannya dengan sifat-sifat logam dan paduannya tersebut. Ada beberapa metode yang dipakai yaitu: mikroskop (optik maupun elektron), difraksi ( sinar-X, elektron dan neutron), analisis (*X-ray fluorescence*, elektron *mikroprobe*) dan juga *stereometric* metalografi. Pada praktikum metalografi ini digunakan metode mikroskop, sehingga pemahaman akan cara kerja mikroskop, baik optik maupun elektron perlu diketahui. Pengamatan metalografi dengan mikroskop umumnya dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Metalografi makro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran 10 – 100 kali,
2. Metalografi mikro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran diatas 100 kali.

Sebelum dilakukan pengamatan mikrostruktur dengan mikroskop maka diperlukan proses-proses persiapan sampel. Langkah-langkah dalam persiapan sampel untuk mikroskop, yaitu:

1. Pemotongan spesimen.
2. *Labeling*.
3. *Mounting* spesimen (bila diperlukan).
4. *Grinding* dan *polishing*.
5. Etsa.
6. Pembersihan dan pengeringan.

Setelah proses diatas sudah dilakukan, maka spesimen tersebut siap untuk diamati struktur makro dan mikro. Dari pengamatan itu bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya cacat, struktur logamnya, dan sebagainya.

#### **2.2.7 Pengujian Tarik**

Pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap material uji (spesimen) yang standar. Bahan yang akan diuji tarik mula-mula dibuat menjadi material uji (batang) dengan bentuk sesuai standar. Pada bagian tengah dari batang uji (pada bagian yang paralel) merupakan bagian yang menerima tegangan yang uniform dan pada bagian ini diukurkan “panjang uji” (gauge length), yaitu bagian yang dianggap menerima pengaruh dari pembebanan, bagian ini yang selalu diukur panjangnya selama proses pengujian. Dengan kata lain uji tarik adalah tes di mana sampel dipersiapkan ditarik sampai benda uji patah. Sampel uji tarik dalam pengelasan dapat mengungkapkan kekuatan tarik lasan, batas elastis, titik luluh, dan daktilitas.

Batas elastis logam adalah batas tegangan (beban) yang menahan dan masih kembali ke panjang aslinya setelah beban dilepaskan. Kekuatan tarik lasan

terjadi saat benda uji tidak kembali ke panjang aslinya. Daktilitas adalah kemampuan logam untuk meregangkan atau memanjang sebelum rusak.

Tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

dengan:  $F$  = beban (kg)

$A_0$  = luas penampang ( $\text{mm}^2$ )

Regangan

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

dengan:  $L_0$  = panjang mula-mula

$L$  = panjang setelah diberi beban

### 2.2.8 Uji Kekerasan

Kekerasan suatu material menyatakan kemampuan material tersebut untuk menahan deformasi plastis. Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi pada permukaannya. Dapat diperkirakan bahwa terdapat hubungan antara kekerasan dan kekuatan bahan. Salah satu metode pengujian kekerasan yang dipergunakan yaitu uji kekerasan *Vickers*.

Uji kekerasan vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$ . Karena bentuk penumbuknya piramida, maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

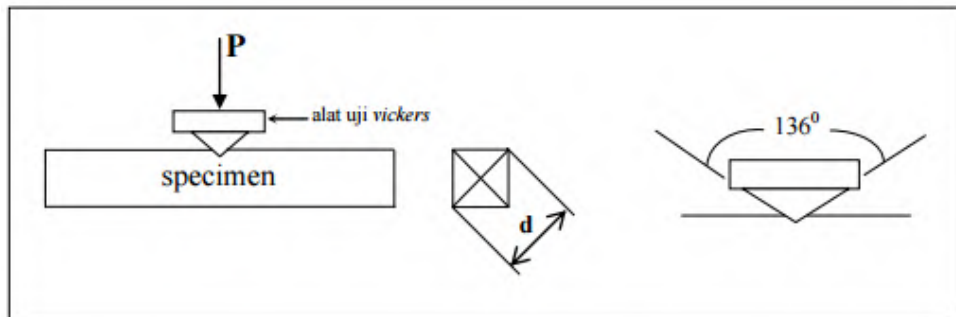
$$VHN = \frac{2P \sin(\theta/2)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2} \quad (3)$$

dengan,

$P$  = beban yang diterapkan (kg)

$L$  = panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  = sudut antara permukaan intan yang berlawanan =  $136^\circ$



Gambar II.9 Skema pengujian Vickers hardness (AWS D1.2)

### 2.2.9 Larutan Pengganti Air Laut

Media pengujian menggunakan larutan pengganti air laut sesuai standard ASTM D1141-98 "Standard Specification for Subtitude Ocean Water". Komposisi kimia yang digunakan diantaranya NaCl, MgCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, KCl, NaHCO<sub>3</sub>, KBr, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, SrCl<sub>2</sub>, NaF. Jumlah Kompoisi kimia yang digunakan disesuaikan salinitasnya. Pada ASTM D1141-98 sudah ditentukan. Pada tugas akhir digunakan salinitas 35% dan jumlah dari komposisi kimia yang digunakan dapat dilihat pada table 2.5 di bawah ini.

Tabel II.2 Komposisi kimia pengganti air laut (g/L) (Sumber: ASTM D1141-98)

Salinitas (‰)	NaCl (g/L)	MgCl <sub>2</sub> (g/L)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g/L)	CaCl <sub>2</sub> (g/L)	KCl (g/L)	NaHCO <sub>3</sub> (g/L)	KBr (g/L)	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (g/L)	SrCl <sub>2</sub> (g/L)	NaF (g/L)
35 ‰	23,78	5,03	3,96	1,12	0,673	0,195	0,097	0,0264	0,024	0,003

### 2.2.10 Korosi

Suatu reaksi korosi dapat berlangsung apabila ada bagian yang berfungsi sebagai anoda (yang terkorosi) dan ada bagian yang berfungsi sebagai katoda, yang berhubungan satu sama lain. Logam dengan elektroda potensial yang lebih negative berarti lebih mudah terkorosi dan logam yang lebih mulia tidak terkorosi. Bila elektron yang terkumpul pada potongan logam tadi dapat mengalir ke suatu tempat lain maka keseimbangan akan terganggu, sehingga reaksi akan berlanjut yaitu makin banyak atom logam yang larut menjadi ion logam dan makin banyak elektron yang disalurkan ke tempat lain itu. Dalam hal ini logam tempat terjadinya reaksi oksidasi di atas akan berfungsi sebagai anoda, reaksi yang terjadi pada anoda dinamakan reaksi anodik. Elektron yang dihasilkan di anoda dialirkan ke tempat lain yaitu menuju katoda. Katoda ini dapat berupa logam lain yang dihubungkan dengan potongan logam anoda, atau bagian lain dari potongan logam yang dicelupkan dalam elektrolit. (Suherman, 1988)

Korosi dapat diartikan sebagai suatu proses kerusakan atau keausan material akibat terjadinya reaksi dengan lingkungan. Dalam beberapa sumber, definisi korosi terbatas pada korosi logam tetapi seringkali seorang ahli korosi harus mempertimbangkan antara logam dan non logam untuk memberikan penyelesaian yang ada. Lingkungan yang menyebabkan kerusakan pada material disebut lingkungan korosif yang terbagi dalam beberapa bagian. (Fontana, 1986)

1. Lingkungan udara beruap air dan air yang mengandung mineral

2. Polutan industri yang terdiri dari uap air, gas-gas seperti amoniak, hydrogen sulfide, asam-asam organik
3. Minyak
4. Lingkungan bersuhu tinggi

Di alam bebas, kebanyakan logam ditemukan dalam keadaan tergabung secara kimia dan disebut bijih (*ore*). Bijih-bijih ini biasanya berupa oksida sulfida, karbonat, atau senyawa lain yang kompleks. Senyawa-senyawa tersebut banyak yang sudah ada di kerak bumi sejak bumi ini tercipta. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa kondisi kimia bijih-bijih itu ditentukan oleh kehendak alam. Kehendak alam inilah yang kemudian menjadi hukum dasar yang berkembang melalui pengkajian termodinamika dan menggunakan termonologi dalam termodinamika itu dapat dikatakan bahwa bijih dan senyawa-senyawa lain semacam itu berada dalam keadaan energy paling rendah (Fontana, 1986)

Hukum termodinamika mengungkapkan tentang kuatnya kecenderungan keadaan energi tinggi untuk berubah menjadi energi rendah. Kecenderungan inilah yang membuat logam-logam bergabung kembali dengan unsur-unsur yang ada di lingkungan yang akhirnya membentuk gejala korosi. Dengan menggunakan profil energi untuk menggambarkan perubahan-perubahan termodinamika yang dialami suatu atom logam sejak masih bergabung dalam bijih. Ketika berdiri sendiri sebagai atom logam dan sesudah tergabung lagi sebagai hasil korosi. Sehingga korosi diartikan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (trethewey and chamberlain, 1991)

#### **2.2.11 Korosi Pada Aluminium**

Reaksi dasar dari aluminium dalam media cair telah dipelajari dalam banyak penelitian. Dalam keadaan biasa, oksidasi aluminium dalam air dimulai dengan persamaan:



Logam aluminium dalam keadaan oksidasi 0 dalam larutannya berubah menjadi kation  $Al^{3+}$  ketika kehilangan tiga elektron. Reaksi ini seimbang dengan reduksi simultan ion yang hadir dalam larutan yang merupakan elektron bebas. Aluminium sebenarnya merupakan logam yang mudah bereaksi dengan udara dan air dapat dilihat dari deret volta di bawah ini.

Li - K - Ba - Sr - Ca - Na - Mg - Al - Mn - Zn - Cr - Fe - Cd - Co - Ni  
 - Sn - Pb - H - Sb - Bi - Cu - Hg - Ag - Pt - Au

Dari deret volta di atas diketahui bahwa Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron) dan logam merupakan reduktor yang semakin kuat (semakin mudah mengalami oksidasi) sehingga lebih cepat mengalami korosi. Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin kurang reaktif (semakin sulit melepas elektron) dan logam merupakan oksidator yang semakin kuat (semakin mudah mengalami reduksi) sehingga lebih tahan terhadap korosi. Hal itu dapat dilihat dari sifat reduktor aluminium cukup baik, dan harga potensial reduksinya ( $E^0 = -1,66$  volt) cukup negatif untuk mudah bereaksi dengan air dan oksigen. Sebenarnya, aluminium berkarat dengan cepat membentuk aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ). Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ) di permukaan logam aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Lapisan tipis oksida pada permukaan aluminium, lapisan tipis  $Al_2O_3$  ini memiliki tebal  $10^{-8}$  meter yang tidak tembus air, sehingga melindungi permukaan logam dari reaksi lebih lanjut. (Hal ini berbeda dengan karat besi  $Fe_2O_3$  yang berpori dan tembus air, yang menyebabkan bagian besi di bawah karat tidak terlindungi dari serangan oksigen dan uap air). Akibatnya, logam aluminium cukup stabil dan tahan lama untuk digunakan dalam berbagai peralatan.

### 2.2.12 Jenis-Jenis Korosi

Korosi sangat bermacam-macam. Hingga saat ini diperkirakan ada 57 jenis korosi yang terjadi di permukaan bumi. Dalam makalah ini hanya akan disajikan beberapa jenis korosi yang sering terjadi pada kehidupan sehari-hari dan menjadi kendala dalam aktivitas manusia. Jenis-jenis korosi tersebut adalah:

#### a. Korosi atmosfer

Korosi ini disebabkan akibat terjadinya proses elektrokimia antara dua bagian benda padat yang berbeda potensial dan langsung berhubungan dengan udara terbuka. Pada setiap logam terutama besi, tidak ada yang terbebas dari kotoran di dalam materialnya atau disebut *impurities*. Hal itu disebabkan karena di dalam udara terdapat banyak sekali sampah, debu pencemar, yang terkadang menimbulkan larutan yang sangat asam. Larutan asam (pH rendah) inilah yang berfungsi sebagai bahan penghantar elektrolit sehingga terjadi karat pada bagian permukaan logam tersebut (Widharto, 2001)

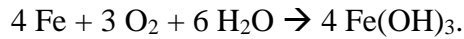
Korosi atmosfer sangat dipengaruhi oleh lingkungan sekitar. Lingkungan yang berbeda akan memberikan hasil yang berbeda pula. Misalnya di tepi pantai zat pencemar yang dominan adalah NaCl yang berasal dari air laut, sedangkan di daerah pedesaan zat pencemar yang dominan adalah COS (karbonil sulfida).

#### b. Korosi oksidasi

Korosi ini terjadi apabila suatu metal berhubungan dengan gas pengoksidasi seperti zat asam, pada suhu kamar yang menyebabkan terbentuknya karat tanpa kehadiran elektrolit. Peristiwa ini disebut juga dengan korosi kering atau *dry corrosion*. Pada pengkaratan kering ini, hasil reaksinya berupa bahan padat yang sering disebut dengan kerak.



Permukaan metal yang masih murni yang berhubungan dengan gas pengoksidasi akan mengalami urutan reaksi dimulai dari adsorpsi zat asam, terbentuknya inti oksida, lalu terbentuknya kerak oksida. Untuk korosi pada besi, reaksi kimia yang terjadi adalah:



Fe(OH)<sub>3</sub> itulah yang disebut kerak pada besi (Widharto, 2001:80).

c. Korosi galvanis

Korosi ini terjadi apabila dua logam yang tidak sama dihubungkan dan berada pada elektrolit yang sama. Elektron mengalir dari logam anodik menuju logam katodik yang menyebabkan salah satu dari logam tersebut akan mengalami korosi, sementara logam lainnya akan terlindung dari serangan korosi. Logam yang mengalami korosi adalah logam yang memiliki potensial yang lebih rendah, dan logam yang tidak mengalami korosi adalah logam yang memiliki potensial lebih tinggi.

d. Korosi pelarutan selektif (*selective leaching*)

Jenis korosi ini berbeda dengan korosi lainnya. Korosi ini terjadi karena larutnya suatu komponen dari suatu zat paduan. Zat komponen yang larut selalu bersifat anodik terhadap komponen yang lain. Korosi ini tidak terlihat, karena pada permukaan campuran zat paduan tampak tetap atau tidak mengalami perubahan termasuk pada tingkat kekasarannya. Namun, sebenarnya berat bagian yang terkena jenis korosi ini menjadi berkurang dan kehilangan sifat mekanisnya yang semula. Berbagai jenis korosi pelarutan selektif memiliki nama yang sebagian besar didasarkan pada nama zat paduan yang terlarut.

e. Korosi sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi ini terjadi akibat adanya sistem anoda pada logam, dimana daerah tersebut terdapat konsentrasi ion Cl<sup>-</sup> yang tinggi. Korosi jenis ini sangat berbahaya karena pada bagian permukaan hanya lubang kecil, sedangkan pada bagian dalamnya terjadi proses korosi membentuk “sumur” yang tidak tampak. Karena suatu pengaruh fisik maupun

metalurgis (adanya presipitasi karbida maupun inklusi) maka pada permukaan logam terdapat daerah yang terkorosi lebih cepat dibandingkan lainnya. Kondisi ini menimbulkan pit yang kecil, pelarutan logam yang cepat terjadi dalam pit, saat reduksi oksigen terjadi pada permukaan yang rata. Pelarutan logam yang cepat akan mengakibatkan pindahnya ion  $\text{Cl}^-$ . Kemudian didalam pit terjadi proses hidrolisis (seperti pada Crevice Corrosion) yang menghasilkan ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ . Kedua jenis ion ini secara bersama – sama mempercepat terjadinya pelarutan logam sehingga mempercepat terjadinya korosi. (Fontana, 1987)

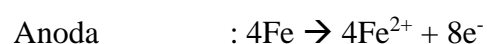
f. Korosi erosi

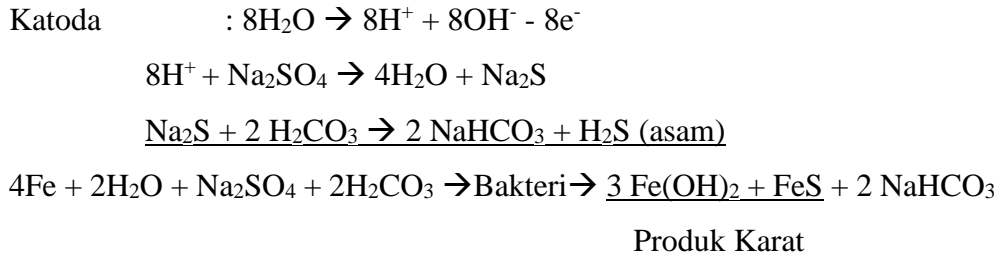
Korosi ini biasa terjadi pada pipa-pipa logam dengan fluida yang mengalir di dalamnya. Korosi ini timbul akibat aliran fluida yang sangat cepat sehingga membuat permukaan logam pipa menjadi terkikis. Proses erosi ini semakin cepat apabila kandungan partikel zat padat dalam fluida tersebut semakin banyak.

Korosi erosi ini juga dapat terjadi pada permukaan yang bergerak cepat, sementara fluida di sekitarnya mengandung partikel-partikel padat. Rusaknya bagian permukaan karena terkikis oleh fluida akan menghilangkan lapisan pelindung logam sehingga memudahkan terjadinya bentuk korosi yang lain.

g. Korosi bakteri

Secara teoritis apabila tidak terdapat zat asam, laju korosi pada berbagai logam relatif lambat. Namun pada kondisi-kondisi tertentu ternyata laju pengkaratannya justru semakin cepat. Setelah diselidiki ternyata terdapat mikroorganisme yang dapat menyebabkan korosi. Mikroorganisme ini dapat mengubah suatu garam menjadi asam yang sangat reaktif. Reaksi yang terjadi pada besi yang mengalami korosi bakteri adalah:





Pada reaksi di atas bakteri dapat mengubah garam sulfat menjadi asam sulfat. Oleh karena itu bakteri pada contoh di atas lazim disebut Sulfate Reducing Bacteria. Keberadaan bakteri di atas dapat ditandai dengan adanya bau busuk menyengat apabila kerak produk korosi tersebut dikupas. Untuk mendeteksinya diberi beberapa tetes HCL pada kerak karat (Widharto, 2001)

### 2.2.13 Persamaan Laju Korosi

Laju korosi adalah peristiwa merambatnya proses korosi yang terjadi pada suatu material. Pada beberapa pengujian korosi sebagian besar yang dilakukan adalah laju korosi. Hal ini disebabkan laju korosi berkaitan erat dengan nilai ekonomis dan teknis material. Laju korosi merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur ketahanan terhadap korosi pada material sehingga nantinya dapat dipekirakan kapan material tersebut dinyatakan layak dan kapan tidak layak. Satuan yang digunakan adalah mpy (*mils per year*) mmpy (*millimeter per year*) dll. Ketahanan terhadap korosi umumnya nilai laju korosi antara 1-200 mpy. Dapat dilihat pada table II.3 di bawah ini yang menggolongkan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya. Pada table dapat diketahui tingkat ketahanan material mulai dari yang paling baik ketahanannya sampai yang buruk ketahanannya terhadap korosi.

Tabel II.3 Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi (Sumber: Fontana, 1987)

<i>Relative Corrosion Resistance</i>	<i>Approximate Metric Equivalent</i>				
	mpy	mm/year	µm/year	nm/year	pm/sec
<i>Outstanding</i>	<1	<0,02	<25	<2	<1
<i>Excellent</i>	1 – 5	0,02 – 0,1	25 – 100	2 – 10	1 – 5
<i>Good</i>	5 – 20	0,1 – 0,5	100 – 500	10 – 50	5 – 20
<i>Fair</i>	20 – 50	0,5 – 1	500 – 1000	50 – 100	20 – 50
<i>Poor</i>	50 – 200	1 – 5	1000 - 5000	150 - 500	50 - 200
<i>Unacceptable</i>	>200	>5	>5000	>500	>200

Metode elektrokimia ini menggunakan rumus yang didasari pada Hukum Faraday (ASTM G1-90 vol 3.2 2002) yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (4)$$

dengan: K = Konstanta

T = Waktu (jam)

A = Luasan (cm<sup>2</sup>)

W = Massa yang hilang (gram)

D = Massa jenis (g/cm<sup>3</sup>)

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K \times a \times i}{n \times D} \quad (5)$$

dengan: a = Berat atom logam yang terkorosi (gram/mol)

i = i<sub>corr</sub> (µA/cm<sup>2</sup>)

k = konstanta (0.129 untuk mpy dan 0.00327 untuk mmpy)

n = jumlah elektron yang dilepas pada logam terkorosi

D = masa jenis logam terkorosi (gram/cm<sup>3</sup>)

#### **2.2.14 Komponen Sel Tiga Elektroda**

Dalam perangkat percobaan seperti sel tiga elektroda tentunya terdiri dari beberapa komponen yang setiap komponen memiliki fungsi tersendiri, berikut ini komponen yang terdapat dalam sel tiga elektroda:

##### **a. Elektroda Kerja**

Elektroda kerja adalah elektroda yang akan diteliti. Istilah elektroda digunakan sebagai ganti dari anoda. Elektroda kerja dapat disiapkan dengan berbagai cara, salah satunya adalah cukup dengan memasang sebuah specimen kecil dalam resin pendingin. Specimen harus mempunyai hubungan listrik dan hal ini dapat disiapkan sebelum pemasangan. Permukaan specimen harus digerinda dan diampelas sehingga rata dan halus.

##### **b. Elektroda Pembantu**

Elektroda pembantu adalah sebutan yang diberikan untuk elektroda kedua yang memiliki fungsi untuk mengangkut arus dalam rangkaian penelitian. Elektroda ini tidak diperlukan untuk pemukuran potensial. Bahan yang sering digunakan adalah sebatang karbon, tetapi dapat menggunakan bahan lain asalkan tidak menimbulkan kontaminasi ion-ion ke dalam elektrolit. Bahan lain yang dapat digunakan diantaranya adalah platina dan emas, terutama bila semua komponen harus berukuran kecil.

##### **c. Elektroda Acuan**

Elektroda acuan adalah elektroda yang digunakan sebagai titik dasar yang baik untuk acuan pengukuran potensial dari elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil kecilnya sehingga dapat diabaikan. Jika tidak demikian, elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tidak lagi konstan. Oleh karena itu elektroda pembantu dibutuhkan. Sejauh ini elektroda acuan yang paling praktis adalah elektroda kolomel jenuh (dummy)

##### **d. Sumber Potensial**

Sumber potensial memiliki fungsi sebagai penggerak kerja sehingga reaksi sel yang dikehendaki berlangsung. Instrument yang digunakan adalah Autolab Potentiostat dengan tipe PGTAT30. Merupakan potensiostat yang dapat mengukur dan menghasilkan arus listrik maksimal 250mA dengan potensial listrik 100 Volt. Instrument tersebut sering digunakan untuk meneliti korosi. Potensiostat memberikan potensial yang telah ditentukan dahulu kepada elektroda kerja sehingga pengukuran arus sel dapat dilakukan. Proses ini dilakukan dengan cara mengubah arus yang melalui elektroda pembantu ke suatu harga yang sedemikian sehingga beda potensial antara elektroda kerja dan elektroda acuan tidak berubah. Pada seperangkat Autolab Potensiostat sudah dilengkapi dengan alat pengukur arus dan pengukur potensial yang terletak menjadi satu dengan sumber tegangan ini. Terdapat layar yang menunjukkan besar potensial dan arus selama melakukan pengujian.

e. Alat Pengukur Potensial

Selama proses pengukuran alat ini tidak boleh dialiri arus sehingga perangkat model lama yang memenuhi syarat adalah potensiometer. Alat ukur digital yang modern bisa mempunyai impedansi hingga satuan giga ohm, karena itu dapat digunakan dengan ketelitian sama seperti potensiometer.

f. Alat Pengukur Arus

Alat pengukur arus yang digunakan adalah alat pengukur arus yang dapat dibaca hingga miliampere atau bahkan microampere. Hal ini dipakai agar mendapatkan percobaan yang tepat sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat.

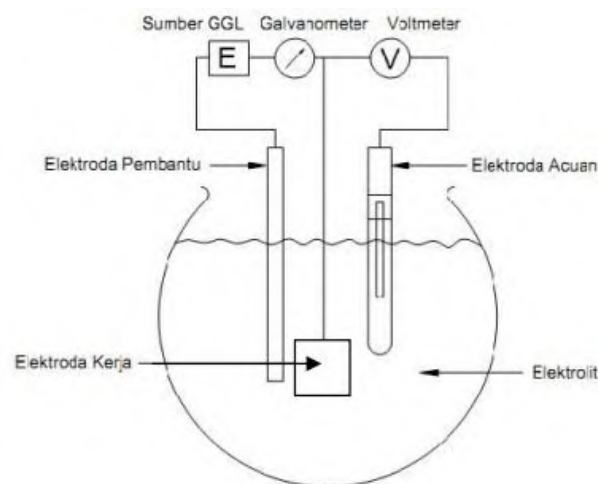
g. Software NOVA

NOVA merupakan software yang didesain dalam satu paket untuk mengontrol semua instrument Autolab dengan disambungkan ke computer menggunakan USB (Universal Serial Bus). Dengan NOVA, penguji tidak hanya menggunakan metode elektrokimia tetapi bisa juga mendesain sendiri

metode elektrokimia tersebut pada saat pembentukan diagram Tafel. Dengan software NOVA tidak hanya dapat diketahui icorr tetapi juga secara otomatis mengeluarkan nilai laju korosi. Hanya dengan memasukkan luas permukaan yang diuji, nilai-nilai penting dalam pengujian ini akan dapat diketahui.

#### h. Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan sebanyak 1 (satu) liter. Larutan elektrolit harus dipilih dengan cermat karena larutan elektrolit berfungsi sebagai pengangkut arus ionic sehingga memainkan peranan penting sekali dalam reaksi-reaksi korosi.



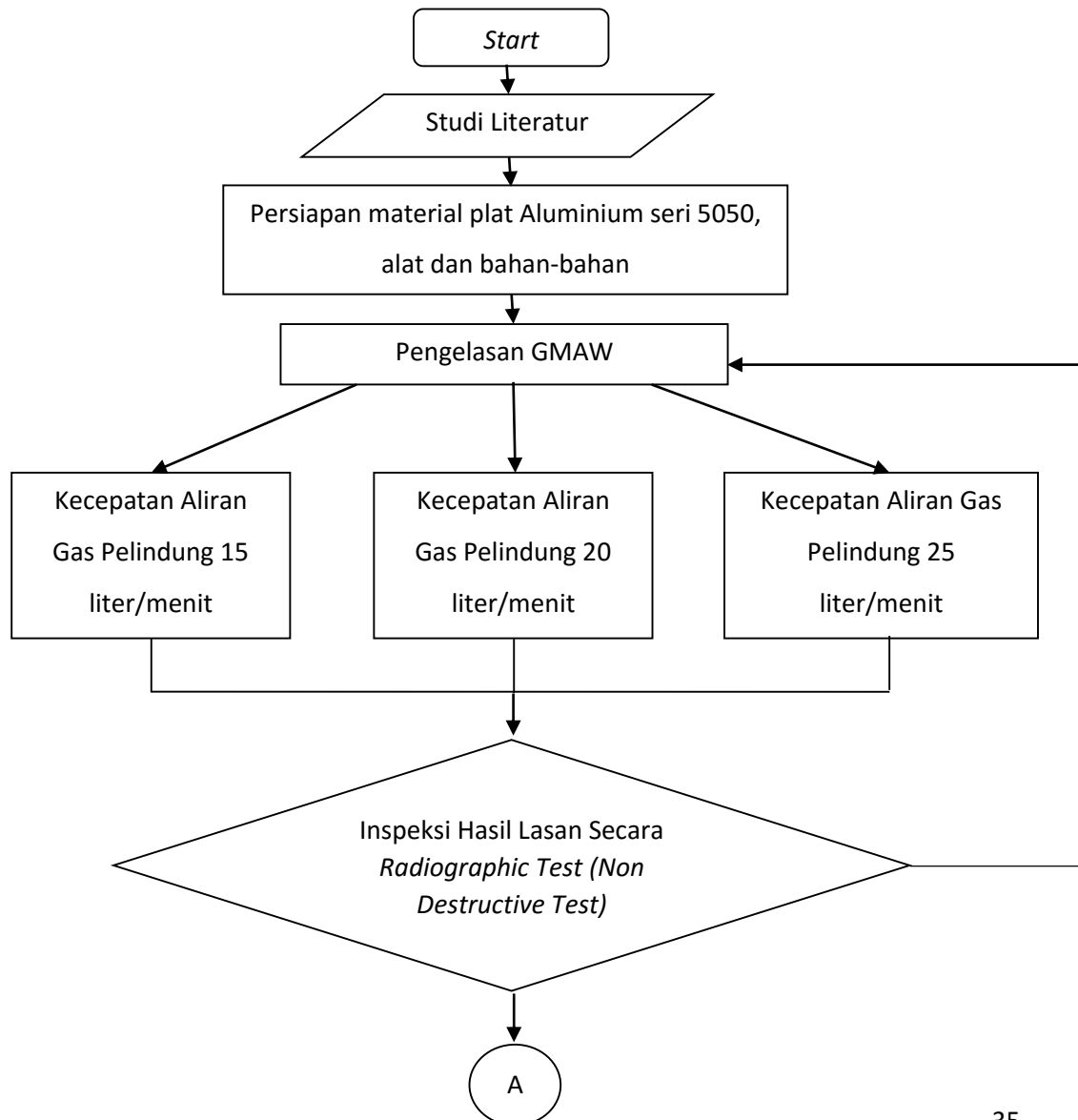
Gambar II.10 Sel Tiga Elektroda (Trethewey and Chamberlain, 1991)

## BAB III

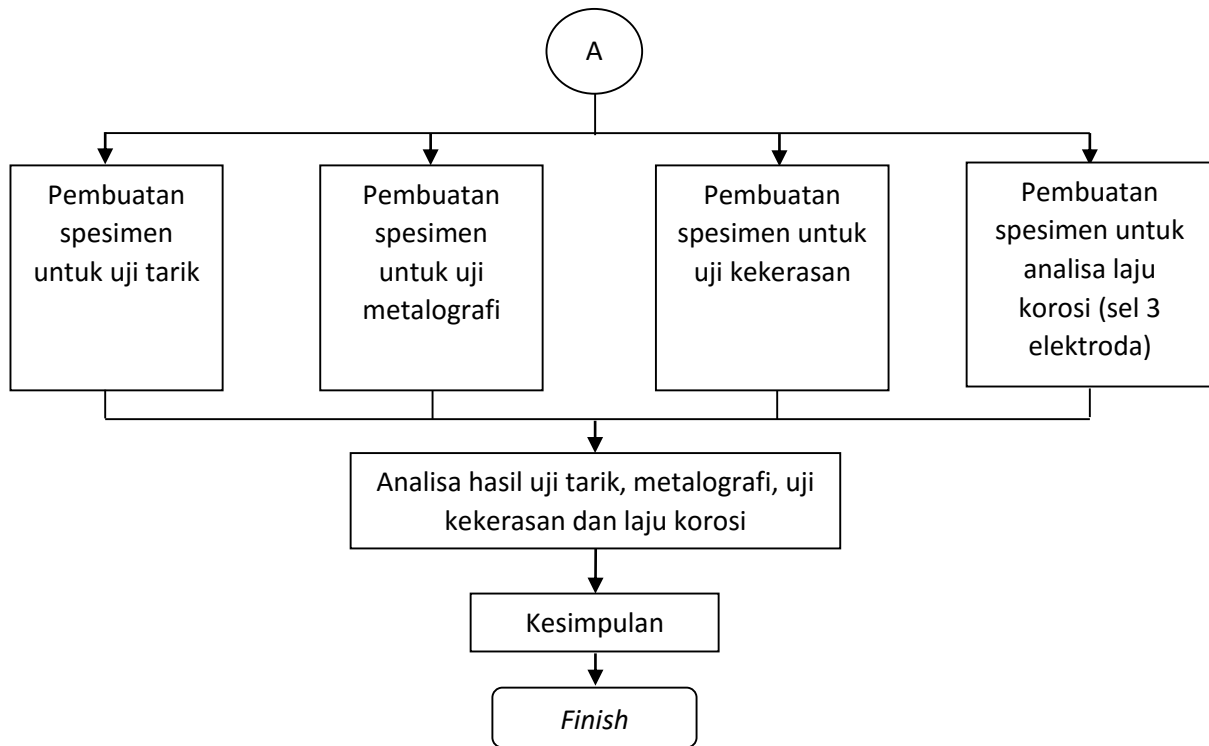
### METODOLOGI

#### 3.1 Metode Penelitian

Untuk mempermudah evaluasi perkembangan penelitian untuk tugas akhir akan dibuat diagram pengerjaan/metodologi. Secara garis besar pengerjaan tugas akhir ini dapat dijelaskan dalam gambar III.1.







Gambar 0.1 Digram alir pengerjaan tugas akhir

### 3.2 Penjelasan Metodologi Penelitian

Prosedur-prosedur penelitian yang digunakan terdiri dari beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Tahap persiapan
2. Proses pengelasan
3. Tahap inspeksi
4. Tahap pembuatan spesimen
5. Tahap pengujian
6. Analisa dan kesimpulan

Tahap-tahap tersebut akan dijelaskan lebih lanjut pada pembahasan selanjutnya:

### 3.2.1 Tahap Persiapan

#### 1. Studi Literatur

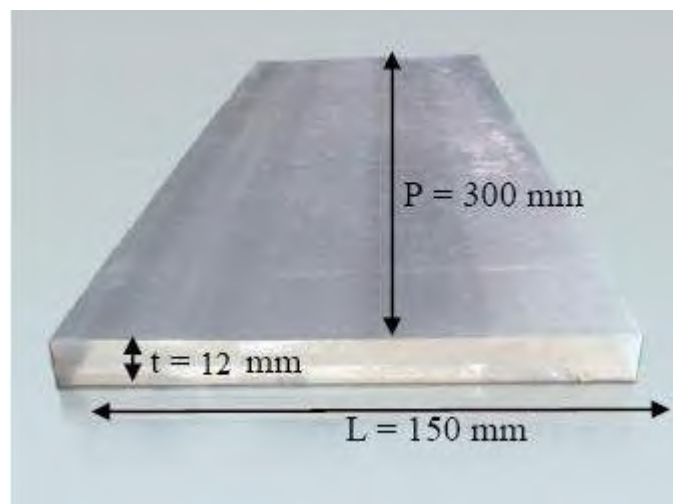
Mencari teori yang akan digunakan dalam penelitian dan analisa. Data-data dan teori yang digunakan dapat diperoleh dari:

- Penelitian sebelumnya seperti Tugas Akhir dan Jurnal Nasional maupun Jurnal Internasional
- Buku yang relevan seperti diktat kuliah dan buku lainnya yang bersangkutan dengan judul tugas akhir
- *Codes* yang diperlukan

#### 2. Persiapan Material Las

Material yang digunakan adalah pelat aluminium seri 5050. Spesimen uji dibuat berbentuk segi empat dengan ukuran dan tipe sebagai berikut:

- Tipe : Aluminnium Seri 5050
- Panjang : 300 mm
- Lebar : 150 mm
- Tebal : 12 mm
- Kampuh : *Double V-Groove*



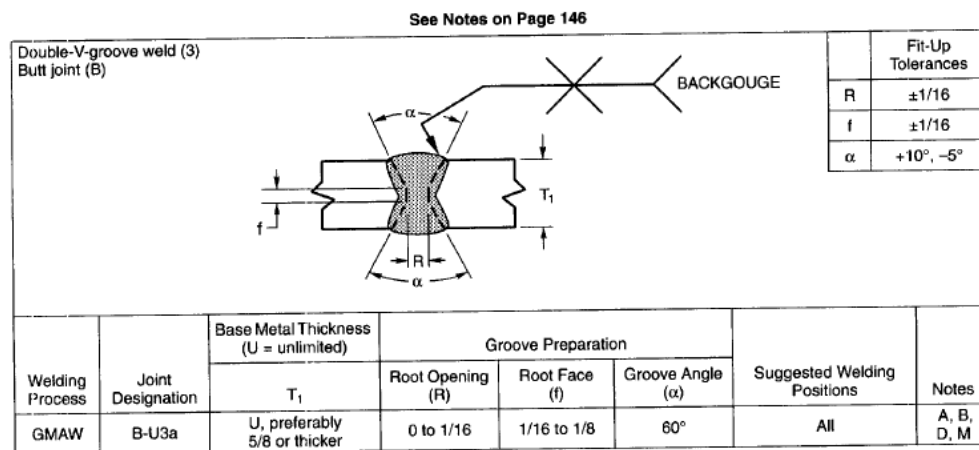
Gambar 0.2 Persiapan material

Peralatan yang digunakan dalam proses persiapan material adalah:

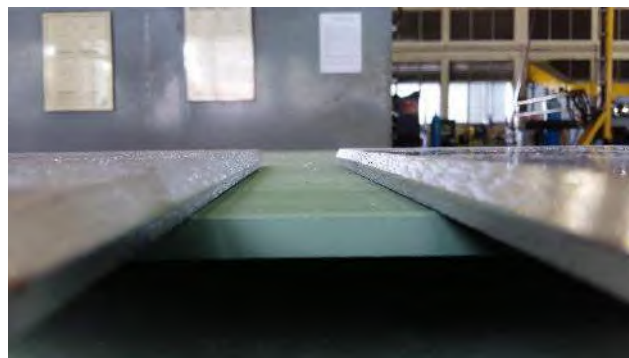
- Mesin gergaji (potong)
- Mesin gerinda dan batu gerinda
- Jangka sorong

### 3. Persiapan Percobaan

- Persiapan Spesimen Uji adalah material pelat aluminium seri 5050 yang telah dibevel *double v-groove*



Gambar 0.3 Gambar 3.3 *Double V-Groove* untuk pengelasan GMAW (AWS D1.2, 1997)



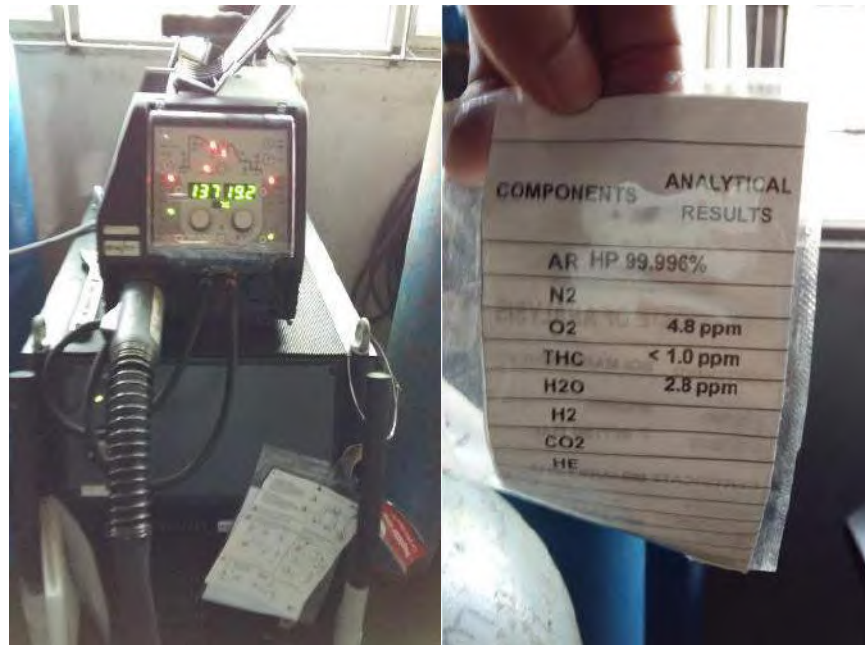
Gambar 0.4 *Butt Joint Double V-Groove*

- Elektroda yang digunakan adalah ER5356 berdasarkan AWS D1.2



Gambar 0.5 Elektroda ER5356

- Mesin las untuk las GMAW



Gambar 0.6 Mesin Las GMAW

- Pelindung mata

- Sarung tangan
- Gerinda
- Tang jepit
- Masker
- *Stopwatch*

#### 4. Persiapan Larutan Pengganti Air Laut

Pada percobaan material ini, digunakan larutan kimia sebagai pengganti air laut. Lihat table 4.1 komposisi kimia pengganti air laut sesuai dengan standard ASTM D1 141-98 “*Standard Specification for Subtitude Ocean Water*”. Komposisi kimia yang digunakan sebagai pengganti air laut dengan salinitas 3,5%.

Tabel 0.1 Komposisi kimia pengganti air laut (g/L) (Sumber: ASTM D1141-98)

Salinitas (‰)	NaCl (g/L)	MgCl <sub>2</sub> (g/L)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g/L)	CaCl <sub>2</sub> (g/L)	KCl (g/L)	NaHCO <sub>3</sub> (g/L)	KBr (g/L)	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (g/L)	SrCl <sub>2</sub> (g/L)	NaF (g/L)
35 ‰	23,78	5,03	3,96	1,12	0,673	0,195	0,097	0,0264	0,024	0,003



Gambar 0.7 Larutan Pengganti Air Laut untuk Uji Korosi

5. Persiapan alat untuk uji laju korosi yaitu sel tiga elektroda dan alat uji lainnya untuk uji tarik, kekerasan dan metalografi.

### 3.2.2 Tahap Pengelasan

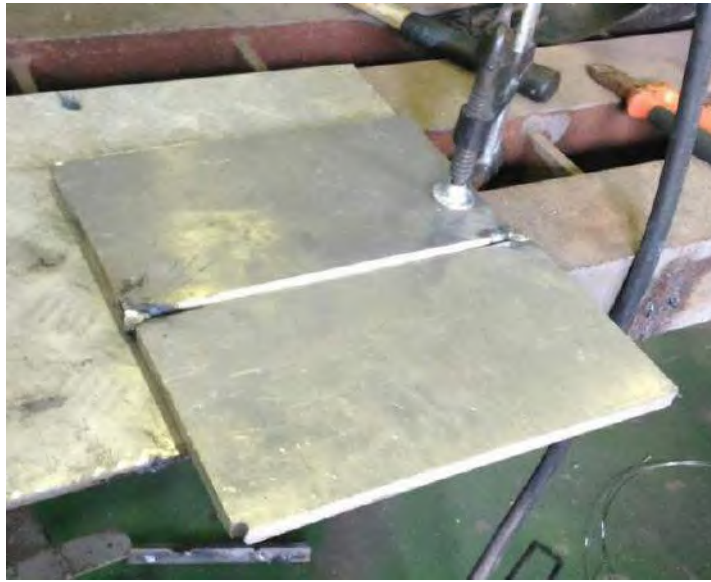
Proses pengelasan ini berlokasi di Laboratorium Konstruksi Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengelasan ini bertujuan untuk menggabungkan dua buah pelat hingga membentuk sebuah spesimen yang nantinya akan dihasilkan sambungan las guna diujikan pada langkah pengerjaan berikutnya. Prosedur pengelasan mengacu pada *Welding Procedure Specification* (WPS). Pengelasan kali ini menggunakan las jenis GMAW dengan menggunakan jenis elektroda ER5356. Parameter yang diubah pada proses pengelasan kali ini adalah kecepatan aliran gas pelindung pada mesin las GMAW, sedangkan tegangan yang digunakan

adalah 21-24 Volt dan arus yang digunakan adalah 140-160 A. Variasi kecepatan aliran gas yang digunakan adalah :

- 15 liter/menit
- 20 liter/menit
- 25 liter/menit



Gambar 0.8 Tabung Gas Pelindung Pada Mesin Las GMAW



Gambar 0.9 *Tack Weld*



Gambar 0.10 Proses pengelasan pada material Aluminium 5050

### 3.2.3 Tahap Inspeksi

1. Setelah proses pengelasan dilakukan inspeksi atau pengujian. Pengujian secara *Non Destructive Test* (NDT) dengan menggunakan *Radiographic Testing* yang berpedoman kepada AWS D1.2. Pengujian radiografi ini dilakukan di PT. Robutech Surabaya yang beralamat di Semolowaru Selatan V No.25, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur.





Gambar 0.11 *Radiographic Test*

### 3.2.4 Tahap Pembuatan Spesimen

Setelah semua proses pengelasan GMAW dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah pembuatan spesimen untuk pengujian. Dalam pembuatan spesimen sesuai yang dibutuhkan maka yang harus dilakukan adalah pemotongan material menjadi kecil sesuai ukuran yang dibutuhkan. Kemudian dilakukan pemotongan dan pengamplasan menggunakan gerinda. Apabila dirasa kurang halus seperti untuk uji metalografi dan kekerasan dilakukan pengamplasan dengan mesin *polishing*.



Gambar 0.12 Tahap Pemotongan Menjadi Spesimen Lebih Kecil



Gambar 0.13 Tahap Penghalusan Menggunakan Mesin *Polishing*

Untuk lebih rincinya setiap spesimen yang dibuat dijelaskan pada pembahasan di bawah ini:

#### 3.2.4.1 Spesimen Uji Korosi

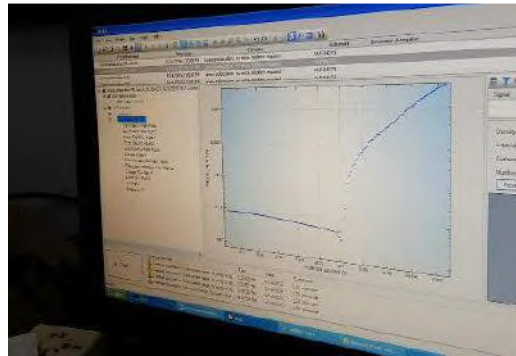
Pengujian uji korosi berdasarkan ASTM G102. Pemotongan uji korosi dengan ukuran (50 mm x 12 mm x 10 mm) sebanyak 3 buah (untuk masing-masing variasi kecepatan aliran gas pelindung). Sehingga

jumlah spesimen yang digunakan untuk uji korosi sebanyak 9 spesimen ditambah dengan material induk 3 spesimen jadi jumlahnya 12 spesimen. Setelah spesimen dibuat maka diberi pembatas menggunakan bahan yang kedap air pada sisinya karena pada pengujian korosi, spesimen yang akan diuji korosi adalah daerah logam lasnya saja.



Gambar 0.14 Spesimen Uji Korosi



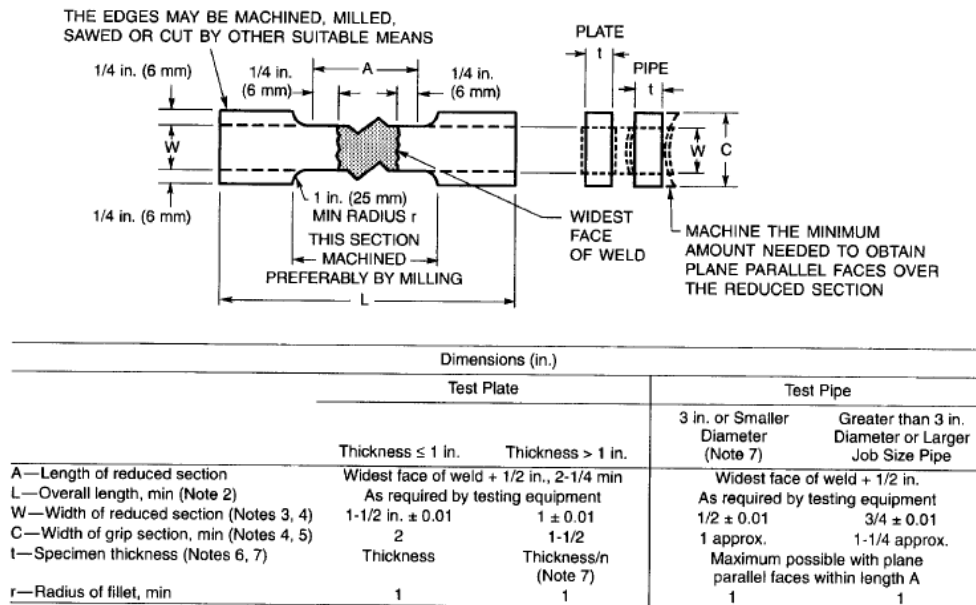


Gambar 0.15 Alat Uji Korosi (Sel Tiga Elektroda)

### 3.2.4.2 Spesimen Uji Tarik

Pada pengujian tarik, spesimen yang dibuat menggunakan standar AWS

D.1.2. Pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tarik dari material dan mengetahui kualitas hasil las-lasan.



Gambar 0.16 Ukuran Spesimen Uji Tarik (AWS D1.2, 1997)





Gambar 0.17 Spesimen Uji Tarik



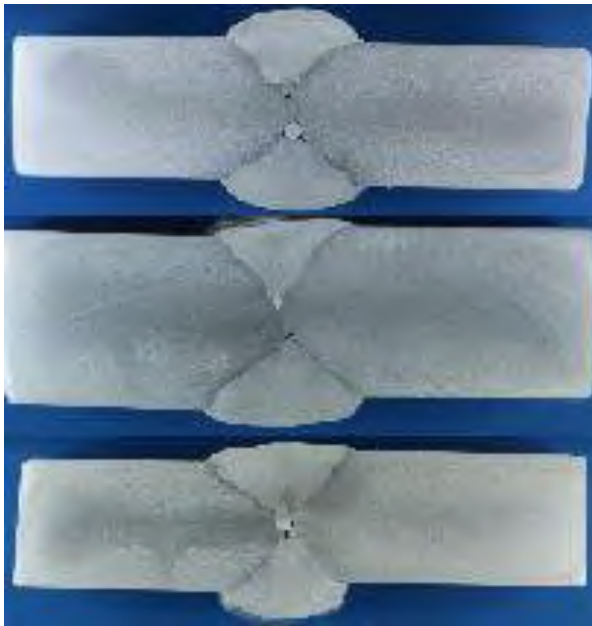
Gambar 0.18 Mesin Uji Tarik

#### 3.2.4.3 Spesimen Untuk Pengamatan Metalografi

Untuk persiapan pengamatan metalografi digunakan ASTM E3-01 *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. Pada pengamatan ini dilakukan foto makro dan foto mikro untuk mengetahui

struktur dari hasil las-lasan. Untuk persiapan pengamatan metalografi persiapan spesimennya adalah:

- Untuk foto makro, permukaan specimen dietsa dengan nilai yaitu 20 (50ml) H<sub>2</sub>O distilasi, 20 (25ml) HNO<sub>3</sub> 70%, 20 (15ml) HCL 38% dan 5 (10ml) HF 40 % sesuai standar ASTM E340. Untuk foto mikro, permukaan specimen dietsa dengan nilai yaitu 2 (4ml) HF 40% (*Floric acid*), 3 (6ml) HCL 38% (*Cloric acid*), 5 (10ml) HNO<sub>3</sub> 70% (*Nitrit Acid*) dan air distilasi 190 ml sesuai dengan standar ASTM E407.



Gambar 0.19 Spesimen Uji Metalografi dan Kekerasan



Gambar 0.20 Mesin Uji Mikro



Gambar 0.21 Mesin Uji Makro

#### 3.2.4.4 Spesimen Uji Kekerasan

Untuk persiapan uji kekerasan digunakan ASTM E92 *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. Pengujian kekerasan ini digunakan untuk mencari tingkat kekerasan dari material sehingga dari harga-harga kekerasan tersebut kita dapat mengetahui apakah material *ductile* atau *brittle*. Makin tinggi nilai kekerasan yang dimiliki oleh suatu material maka material tersebut makin *brittle*.

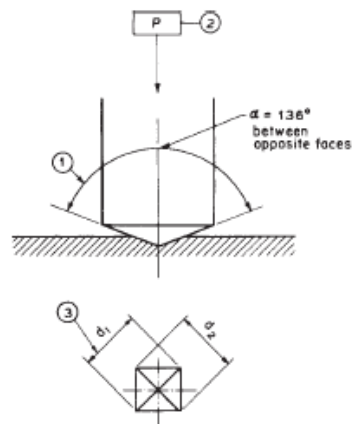


FIG. 1 Vickers Hardness Test (see Table 1)

TABLE 1 Symbols and Designations Associated with Fig. 1

Number	Symbol	Designation
1	...	Angle at the vertex of the pyramidal indenter (136°)
2	$P$	Test force in kilograms-force
3	$d$	Arithmetic mean of the two diagonals $d^1$ and $d^2$

Gambar 0.22 Ukuran Spesimen Uji Kekerasan (ASTM E92)



Gambar 0.23 Mesin Uji Kekerasan



### 3.2.5 Tahap Pengujian

Setelah semua spesimen untuk pengujian selesai maka tahap selanjutnya adalah melakukan proses pengujian. Pada pembahasan di bawah ini dijelaskan proses pengujiannya.

#### 3.2.5.1 Pengujian Laju Korosi

Pengujian korosi dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia FTI-ITS. Pada penelitian laju korosi dengan menggunakan metode sel tiga elektroda ini, ada beberapa tahap persiapan yang mengacu pada prosedur pengujian korosi berdasarkan ASTM G102 yang harus dilakukan. Tahap-tahap yang dilakukan dalam proses pengujian laju korosi adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan tabung reaksi, *reference electrode* atau elektroda acuan yang digunakan sebagai titik dasar yang baik untuk acuan pengukuran potensial dari elektroda kerja. Elektroda ini berupa unsur Ag dalam larutan AgCl jenuh, *counter electrode* atau elektroda pembantu berfungsi untuk mengangkut arus dalam rangkaian penelitian elektroda ini berupa platina dan *working electrode* atau elektroda kerja adalah elektroda yang akan diteliti yang merupakan specimen uji.
2. Larutan NaCl 3,5% yang dibuat dari 35 gram NaCl dalam 1 liter air
3. Mempersiapkan peralatan sumber potensial yang berupa seperangkat Potensiostat Autolab yang telah dilengkapi dengan *software* NOVA

#### 3.2.5.2 Pengujian Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap material uji (spesimen) yang standar. Bahan yang akan diuji tarik mula-mula dibuat menjadi material uji (batang) dengan bentuk sesuai standar. Pada bagian tengah dari batang uji (pada bagian yang paralel) merupakan bagian yang menerima tegangan yang *uniform* dan pada bagian ini diukurkan “panjang uji” (*gauge length*), yaitu bagian

yang dianggap menerima pengaruh dari pembebanan, bagian ini yang selalu diukur panjangnya selama proses pengujian. Dengan kata lain uji tarik adalah tes di mana sampel dipersiapkan ditarik sampai benda uji patah. Sampel uji tarik dalam pengelasan dapat mengungkapkan kekuatan tarik lasan, batas elastis, titik luluh, dan duktilitas.

Batas elastis logam adalah batas tegangan (beban) yang menahan dan masih kembali ke panjang aslinya setelah beban dilepaskan. Kekuatan tarik lasan terjadi saat benda uji tidak kembali ke panjang aslinya. Daktilitas adalah kemampuan logam untuk meregangkan atau memanjang sebelum rusak.

Alat-alat yang dibutuhkan untuk pengujian tarik antara lain:

1. Mesin potong
2. Gerinda
3. Jangka sorong
4. Mesin uji Tarik
5. Tabel pengamatan dan alat tulis

Setelah alat – alat yang dbutuhkan telah tersedia maka langkah – langkah yang dijalankan selanjutnya yaitu :

1. Material hasil pengelasan dipotong menggunakan mesin potong sesuai ukuran yang dibutuhkan untuk uji tarik.

2.



Gambar 0.24 Mesin Potong

3. Penghalusan mahkota lasan dan pembuatan “panjang uji” (*gauge length*) dengan gerinda.



Gambar 0.25 Penghalusan spesimen uji tarik dengan gerinda

4. Setelah semua siap maka, benda uji diletakkan pada mesin uji Tarik



Gambar 0.26 Peletakkan spesimen pada alat uji

5. Setelah itu, mesin akan memberikan beban sampai spesimen terputus dan akan dicatat secara manual beban maksimumnya
6. Melakukan pencatatan hasil pada table pengamatan

#### 3.2.5.3 Pengamatan Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Pengujian metalografi adalah untuk memeriksa permukaan material jika terjadi cacat pengelasan. Metalografi dibagi menjadi dua yaitu pengujian makro dan pengujian mikro. Pengujian makro adalah pengujian dengan kamera yang dilakukan untuk mengetahui cacat las secara visual dengan sangat jelas dibagian dalam hasil pengelasan dan untuk mengetahui berapa layer yang terdapat pada hasil pengelasan. Sedangkan pengujian mikro adalah pengujian menggunakan alat mikroskop dengan pembesaran 100x dan 400x untuk mengetahui mikrostruktur dari material pengelasan yang sedang diamati.

Alat-alat yang dibutuhkan untuk pengujian metalografi antara lain:

1. Mesin potong
2. Mesin *Polisher*
3. *Microscope metallography* terintegrasi dengan komputer.
4. Kamera bermode makro.
5. Spesimen uji mikro dan makro
6. Plastisin
7. Kertas gosok *waterproof grade* 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000.
8. Kain Wol.
9. Larutan etsa untuk Aluminium yaitu 15mL HCl 10mL HF dan 85mL air accu
10. Alat pengering

Setelah alat-alat yang dibutuhkan telah tersedia maka langkah – langkah yang dijalankan selanjutnya yaitu:

1. Material hasil pengelasan dipotong menggunakan mesin potong sesuai ukuran yang dibutuhkan untuk uji makro dan mikro



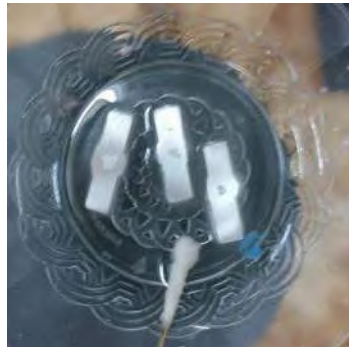
Gambar 0.27 Mesin potong

2. Setelah mendapat ukuran yang diinginkan material dihaluskan dengan mesin *polisher*



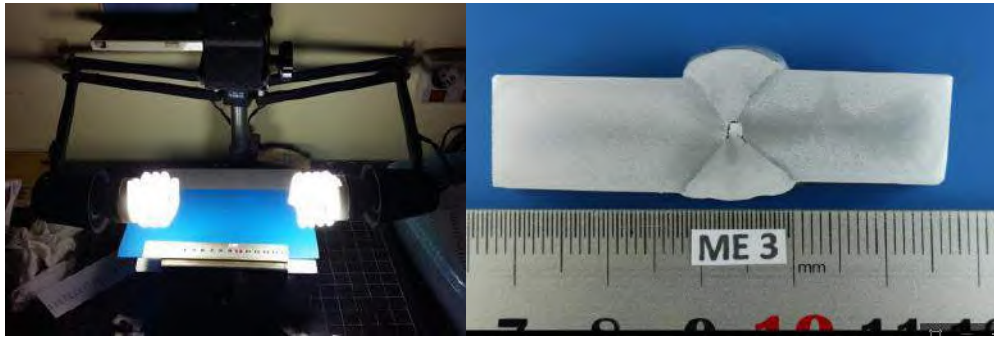
Gambar 0.28 Penghalusan spesimen dengan mesin *polisher*

3. Setelah dirasa cukup halus maka material uji diolesi dengan cairan etsa menggunakan kain wol



Gambar 0.29 Pengolesan spesimen dengan cairan etsa

4. Kemudian dikeringkan dengan alat pengering sebelum dilakukan pengujian
5. Melakukan pengujian makro mrnggunakan kamera



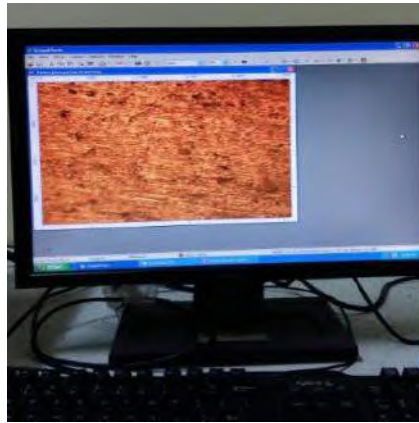
Gambar 0.30 Uji makro

6. Setelah pengujian makro selesai dilanjutkan dengan pengujian mikro menggunakan mikroskop
7. Spesimen diletakkan pada bidang uji dan dilakukan penyesuaian terhadap bagian mana yang ingin diteliti dari specimen yaitu logam induk, HAZ, dan logam lasan fokus kamera dan perbesaran kamera yang diinginkan yaitu 100x dan 400x.



Gambar 0.31 Mikroskop untuk uji mikro

8. Hasil dari uji mikro akan muncul dilayar monitor



Gambar 0.32 Monitor hasil uji mikro

#### 3.2.5.4 Pengujian Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Kekerasan (*Hardness*) menyatakan kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, abrasi dan indentasi. Kekerasan memiliki korelasi dengan kekuatan. Pada pengujian kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material aluminium yang dilakukan pengelasan dari masing masing mesin las. Ada beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

1. Metode Pengujian Kekerasan *Brinell*
2. Metode Pengujian Kekerasan *Vickers*
3. Metode Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Dari ketiga metode yang tersebut di atas, pada kasus ini digunakan jenis pengujian kekerasan *Vickers*. Dari pengujian *Vickers* ini sangat sering digunakan karena kepresisian dari identor berlian piramidanya yang bisa digunakan untuk mengindentasi daerah yang sempit.

Alat yang digunakan untuk pengujian kekerasan *Vickers* antara lain:

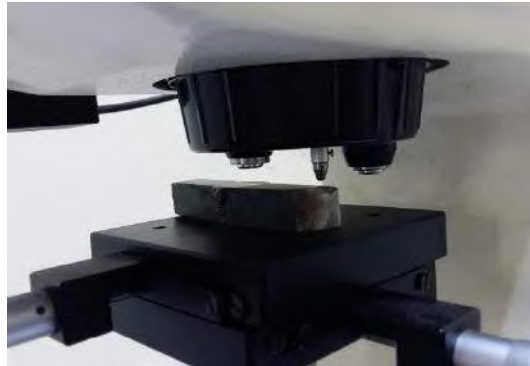
1. 1 set mesin uji kekerasan *Vickers*



2. Spesimen uji kekerasan *Vickers*.
3. Identor *Vickers*.
5. Jangka sorong.
6. Tabel pengamatan dan alat tulis

Setelah alat – alat yang dibutuhkan telah tersedia maka langkah – langkah yang dijalankan selanjutnya yaitu :

1. Setelah sepesimen uji makro yang telah dilakukan pengamatan selesai, maka spesimen ini dapat digunakan untuk pengujian kekerasan *Vickers*.
2. Setelah mesin telah siap maka spesimen diletakkan pada meja pengidentasian.



Gambar 0.33 Peletakkan spesimen pada alat uji kekerasan vickers

3. Setelah semua siap maka, benda uji ditempelkan ke identor sebagai tahap *initial force* ke permukaan.
4. Setelah itu, beban diset pada range 10 kgf untuk pengujian *Vickers* ini. Kemudian tuas beban dilepas menandakan proses identasi sedang berlangsung.
5. Tuas ditahan sampai 15 detik maka akan didapat panjang diagonal 1, panjang diagonal 2 dan nilai HVN secara otomatis.



Gambar 0.34 Hasil yang didapat dari alat uji kekerasan vickers

6. Kemudian dipindah ke daerah selanjutnya yang akan diidentasi.
7. Daerah – daerah yang perlu dilakukan proses identasi antara lain yaitu logam induk, HAZ, dan logam lasan.

### 3.2.6 Analisa dan Kesimpulan

#### 3.2.6.1 Analisa Semua Data dan Pembahasan

Pada tahap analisa data yaitu dimana data yang telah diperoleh dan diolah dari hasil pengujian yang dilakukan itu didapatkan. Dari semua data yang dikelompokkan maka dapat dilakukan analisa yang sesuai dengan standard atau referensi yang berkaitan dan mendukung secara ilmiah dari pengambilan data yang dilakukan. Sehingga dari hasil analisa tersebut, peneliti dapat melakukan pembahasan akan tujuan dari permasalahan yang dirumuskan pada awal pembahasan.

#### 3.2.6.2 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisa dan pembahasan yang dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan dan saran diberikan untuk penelitian yang dapat dilakukan kedepannya. Saran diberikan kepada peneliti apabila terdapat kekurangan dan keterbatasan dalam proses penelitian yang menghasilkan data yang belum sesuai dengan apa yang diharapkan.

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 *Welding Procedure Specification (WPS)***

Percobaan di Laboratorium Konstruksi Politeknik Perkapan Negeri Surabaya ini dilakukan pada material dengan panjang 300 mm dengan parameter pengelasan dan WPS (*Welding Procedure Specification*) sebagai berikut:

##### **4.1.1 Pengelasan GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 15 liter /menit**

<i>Welder</i>	: Rachmad ( <i>Welder</i> PPNS)
Proses Pengelasan	: GMAW ( <i>Gas Metal Arc Welding</i> )
Desain Sambungan	: <i>Butt Joint</i>
Kampuh	: <i>Double V</i>
Material	: Aluminium seri 5050
Elektroda	: ER 5356 diameter 1,2 mm
Dimensi	: 300 mm x 150 mm x 12 mm
Posisi	: 1G
Gas	: Argon
Kecepatan Aliran Gas Pelindung	: 15 liter/menit

##### **4.1.2 Pengelasan GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 20 liter /menit**

<i>Welder</i>	: Rachmad ( <i>Welder</i> PPNS)
Proses Pengelasan	: GMAW ( <i>Gas Metal Arc Welding</i> )
Desain Sambungan	: <i>Butt Joint</i>
Kampuh	: <i>Double V</i>
Material	: Aluminium seri 5050
Elektroda	: ER 5356 diameter 1,2 mm
Dimensi	: 300 mm x 150 mm x 12 mm
Posisi	: 1G

Gas : Argon  
Kecepatan Aliran Gas Pelindung : 20 liter/menit

#### 4.1.3 Pengelasan GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 25 liter /menit

Welder : Rachmad (*Welder PPNS*)  
Proses Pengelasan : GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)  
Desain Sambungan : *Butt Joint*  
Kampuh : *Double V*  
Material : Aluminium seri 5050  
Elektroda : ER 5356 diameter 1,2 mm  
Dimensi : 300 mm x 150 mm x 12 mm  
Posisi : 1G  
Gas : Argon  
Kecepatan Aliran Gas Pelindung : 25 liter/menit

#### 4.2 Hasil Pengelasan

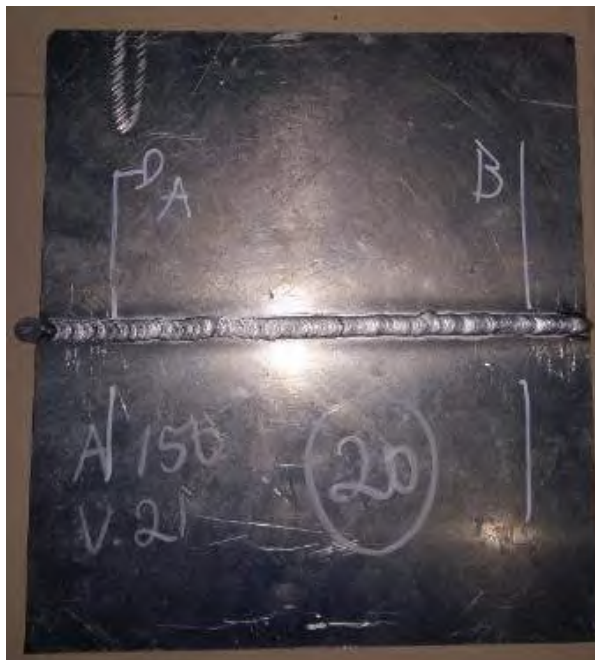
Dalam penelitian pengelasan kali ini dilakukan variasi terhadap kecepatan aliran gas pelindung terhadap proses pengelasan GMAW sebanyak tiga kali variasi yaitu 15 liter/menit, 20 liter/menit dan 25 liter/menit dengan arus yang digunakan 150-160 ampere dan tegangan 21-24 volt.



Gambar 0.1 Plat aluminium seri 5050 dengan kampuh *double V* sebelum dilakukan pengelasan



Gambar 0.2 Hasil pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 15 liter/menit



Gambar 0.3 Hasil pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 20 liter/menit



Gambar 0.4 Hasil pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 25 liter/menit

Pencatatan pada saat proses pengelasan menggunakan metode GMAW didapatkan data-data seperti pada tabel berikut:

Tabel 0.1 Hasil proses pengelasan menggunakan metode GMAW  
(15 liter/menit)

Layer	Process	Filler Metal		Ampere	Volt	Travel Speed (s)
		Class	Diameter			
1	GMAW	ER5356	1,2 mm	140-160	21-24	83
2	GMAW	ER5356	1,2 mm	140-160	21-24	77

Tabel 0.2 Hasil proses pengelasan menggunakan metode GMAW  
(20 liter/menit)

Layer	Process	Filler Metal		Ampere	Volt	Travel Speed (s)
		Class	Diameter			
1	GMAW	ER5356	1,2 mm	140-160	21-24	80
2	GMAW	ER5356	1,2 mm	140-160	21-24	80

Tabel 0.3 Hasil proses pengelasan menggunakan metode GMAW  
(25 liter/menit)

Layer	Process	Filler Metal		Ampere	Volt	Travel Speed (s)
		Class	Diameter			
1	GMAW	ER5356	1,2 mm	140-160	21-24	84
2	GMAW	ER5356	1,2 mm	140-160	21-24	72

#### 4.3 Inspeksi Hasil Pengelasan

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan inspeksi terhadap hasil pengelesan tersebut untuk mengetahui cacat las yang terjadi. Inspeksi yang dilakukan adalah uji radiografi pada hasil pengelasan yang dilakukan di PT. Robutech Surabaya yang beralamat di Semolowaru Selatan V No.25, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur.

##### 4.3.1 Uji Radiografi

Hasil uji radiografi dilakukan untuk mengetahui cacat las yang terjadi pada hasil pengelasan secara menyeluruh baik yang terdapat di permukaan las dan di dalam hasil pengelasan. Pada uji radiografi kali ini sinar yang digunakan adalah sinar x. Hasil film radiografi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 0.5 Film hasil radiografi pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 15 liter/menit



Gambar 0.6 Film hasil radiografi pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 20 liter/menit



Gambar 0.7 Film hasil radiografi pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 25 liter/menit

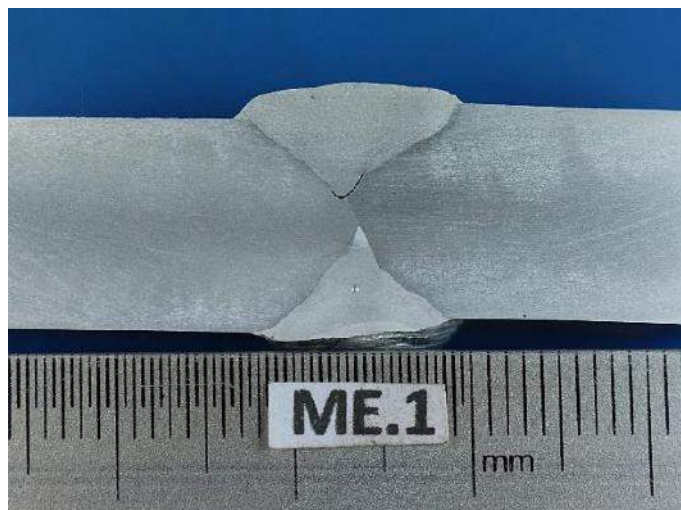
Dari hasil film radiografi tersebut dapat dilihat bahwa terdapat cacat las yang paling dominan yaitu *incomplete penetration* yang disebabkan oleh tidak diberikan perlakuan panas seperti *pre heating* dan *post heating* menggunakan argon sesuai dengan aturan dan juga tidak digunakannya gerinda yang cocok dengan material aluminium yang dikarenakan keterbatasan peralatan di laboratorium dan biaya. Hasil dari uji radiografi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



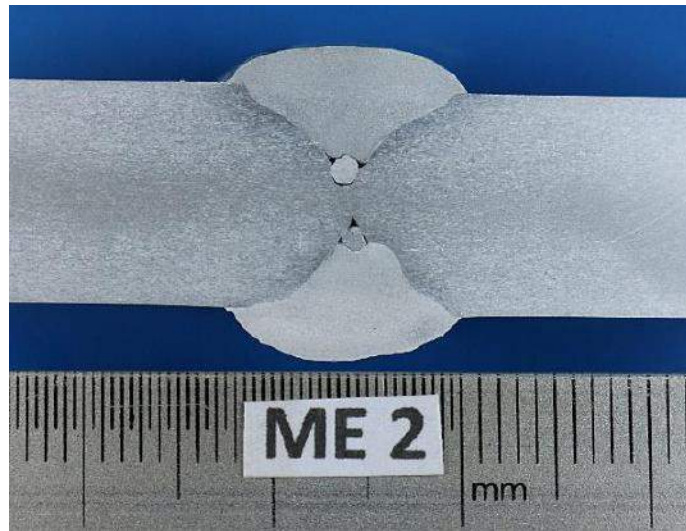
#### 4.4 Pengujian Metalografi

##### 4.4.1 Hasil dan Analisa Pengujian Makro

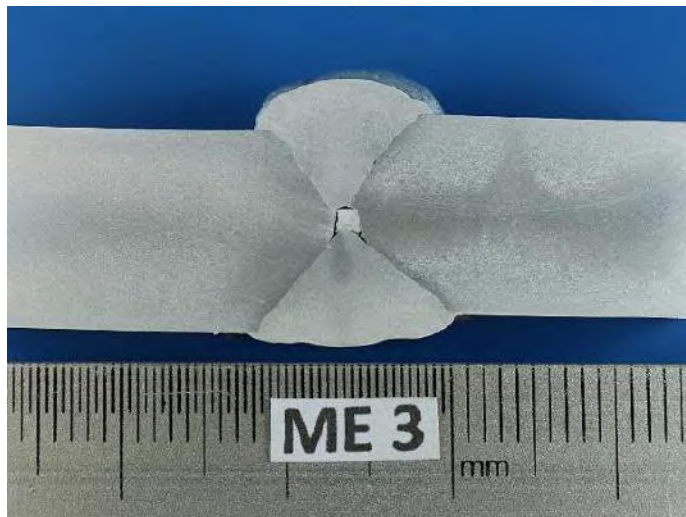
Pengujian makro di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Pengujian makro merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui daerah–daerah dari hasil proses pengelasan, bisa pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), *Fusion Line*, atau *Weld Metal* sekalipun. Dari hasil pengujian makro ini dapat diinterpretasi area – area yang terbentuk akibat proses pengelasannya, antara lain lebar HAZ dan luasan dari logam las. Pengujian makro ini dilakukan dengan teknik yaitu menghaluskan dengan cara dipoles (*polishing*) satu sisi dari potongan melintang untuk spesimen uji makro dengan menggunakan kertas gosok (*abrasive paper*) dari *grade* 80, 120, 240, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000. Apabila dirasa cukup halus pada permukaan maka dapat dilakukan pengolesan permukaan material yang akan dianalisa dengan cairan etsa dengan komposisi standar untuk material aluminium yaitu 15mL HCl, 10mL HF dan 85mL air accu untuk mengurangi goresan material yang dapat mengurangi kualitas efek hasil foto makro.



Gambar 0.8 Hasil foto makro pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 15 liter/menit



Gambar 0.9 Hasil foto makro pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 20 liter/menit



Gambar 0.10 Hasil foto makro pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 25 liter/menit

Dari gambar spesimen uji makro dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Terjadi *incomplete penetration* pada semua variasi sambungan las-lasan GMAW dikarenakan tidak dilakukan perlakuan panas sebelum dan sesudah pengelasan dan penggunaan gerinda saat melakukan pengelasan aluminium yang tidak sesuai standar.

2. Ada indikasi terjadi porositas pada hasil pengelasan karena terlihat ada seperti butir butir kecil yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan saat pengelasan. Namun yang paling terlihat adalah terdapat cacat *incomplete penetration*

#### 4.4.2 Hasil dan Analisa Pengujian Mikro

Pengujian mikro di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Pengujian mikro dilakukan bertujuan untuk mengetahui bentuk struktur mikro (*microstructure*) setelah dilakukan proses pengelasan. Pengujian mikro dilakukan dengan pembesaran 100x dan 400x. Dari semua pembesaran tersebut tergantung dari bentuk butir dari material yang akan diamati. Apabila bentuk butir mikro menghasilkan citra gambar yang kecil / halus maka pembesaran yang digunakan yaitu pembesaran 400x saja. Sedangkan pembesaran 100x khusus digunakan untuk melihat daerah batas area mikro saja (*grain boundaries*), seperti *Base Metal* – HAZ, atau *Fusion Line* (FL). Proses pengelasan pada material menyebabkan perubahan komposisi spesimen sehingga presentase dari setiap daerah spesimen yaitu material induk, HAZ dan material las berbeda-beda. Secara sekilas terlihat warna gelap dan terang yang bentuknya lingkaran atau memanjang. Pada hasil mikrostruktur Gambar IV.11 – Gambar IV.19 dapat dijelaskan secara umum bahwa  $Mg_2Si$  berbentuk titik hitam yang bersifat menyebar (*dispersed*) di keseluruhan struktur mikro. Ini diakibatkan bahwa dari unsur silikon (Si) yang bersifat sebagai pengotor (*impurities*) pada daerah hasil foto mikro tersebut. Namun pembentukan  $Mg_2Si$  ini dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan pada aluminium. Sedangkan  $Mg_2Al_3$  yang berbentuk memanjang putih sebagai batas butir (*grain boundaries*) daripada  $AlFeMnSi$ . Sama halnya juga  $Mg_2Al_3$ ,  $AlFeMnSi$  berbentuk memanjang dengan dibatasi oleh batas butir dari  $Mg_2Al_3$ . Presentase mikrostruktur spesimen bisa dihitung menggunakan metode *point counting* yaitu dengan cara menghitung jumlah titik yang ada dalam suatu fasa dibagi dengan jumlah seluruh titik. Titik tersebut didapat dari sebuah *grid*. *Grid* yang digunakan adalah *grid* dengan total titiknya 9, 16, 25 dan 100. Untuk

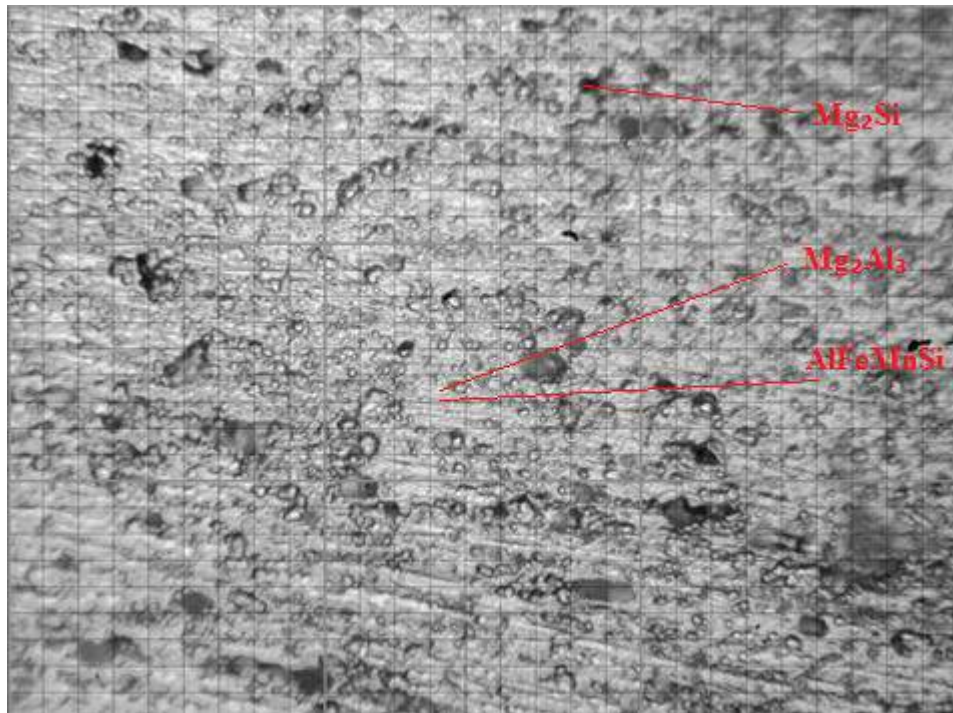
yang memiliki fraksi volume yang tinggi, lebih efektif menggunakan *grid* dengan densitas titik yang rendah dan sebaliknya. Berikut adalah rumus penghitungan dengan metode *point counting*.

$$P_p = \frac{\sum P_\alpha}{P_T} = \frac{\sum P_\alpha}{nP_0} \quad (6)$$

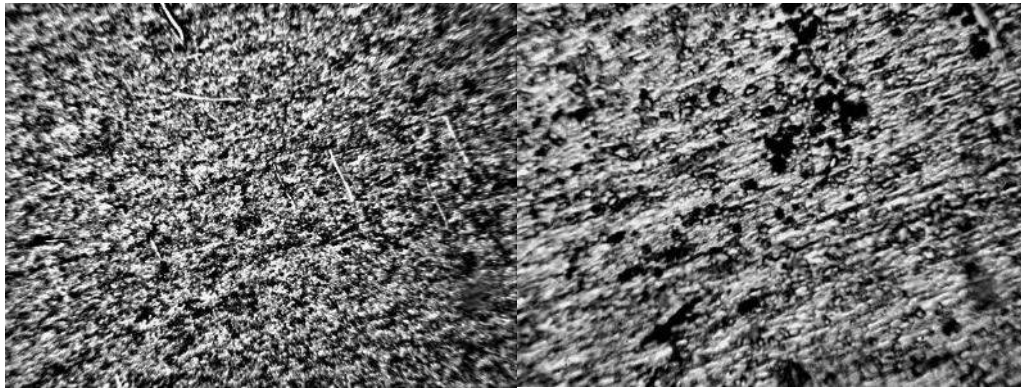
Di mana :

$P_T = nP_0$  = jumlah titik

$P_\alpha$  = jumlah titik di fasa  $\alpha$



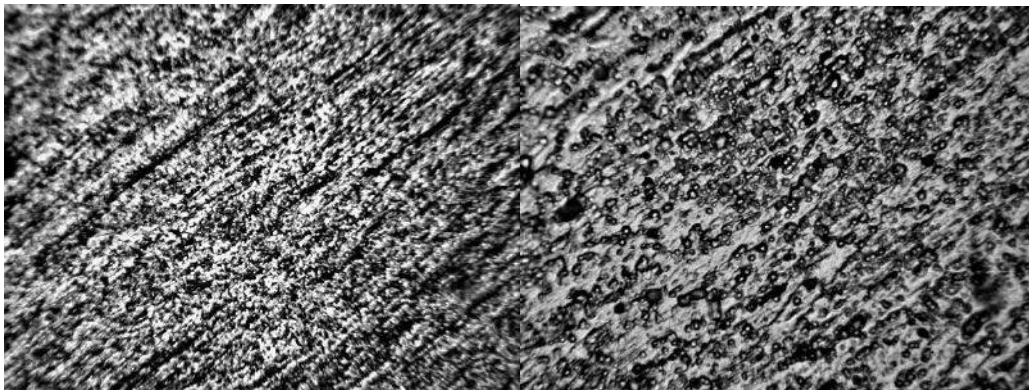
Gambar 0.11 *Plotting grid* untuk penghitungan presentase mikrostruktur dengan metode point counting.



(a) (b)

Gambar 0.12 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit (logam induk)

Pada Gambar IV.12 dapat disimpulkan presentase terang ( $Mg_2Al_3$  dan  $AlFeMnSi$ ) dan gelap ( $Mg_2Si$ ) menggunakan metode *point counting* yaitu 69% terang dan 31% gelap.

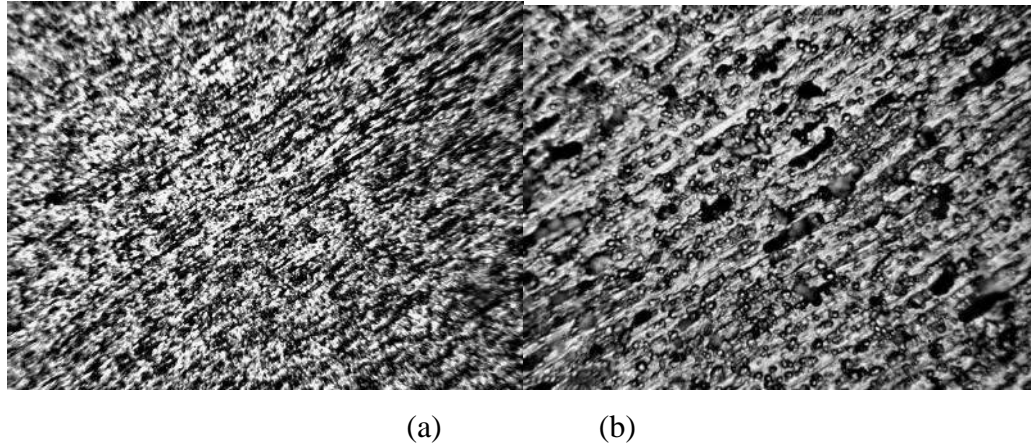


(a) (b)

Gambar 0.13 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit (logam induk)

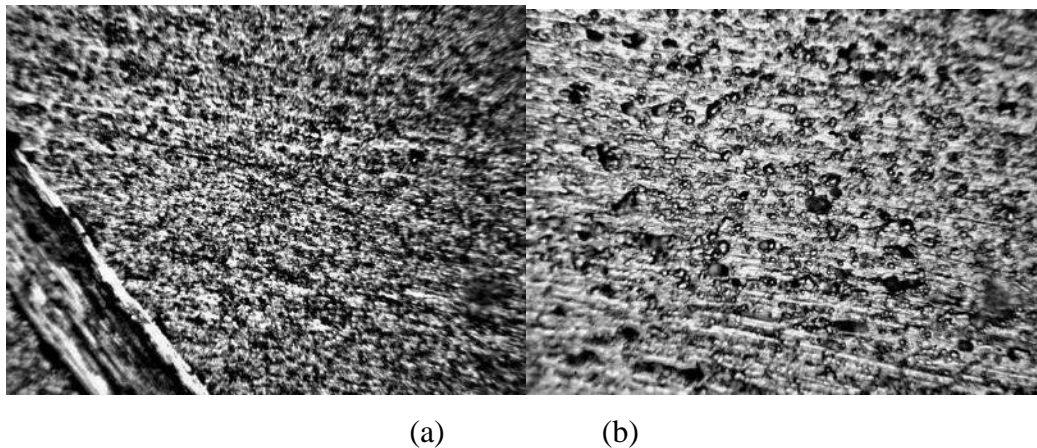
Pada Gambar IV.13 dapat disimpulkan presentase terang ( $Mg_2Al_3$  dan  $AlFeMnSi$ ) dan gelap ( $Mg_2Si$ ) menggunakan metode *point counting* yaitu 64% terang dan 36% gelap.





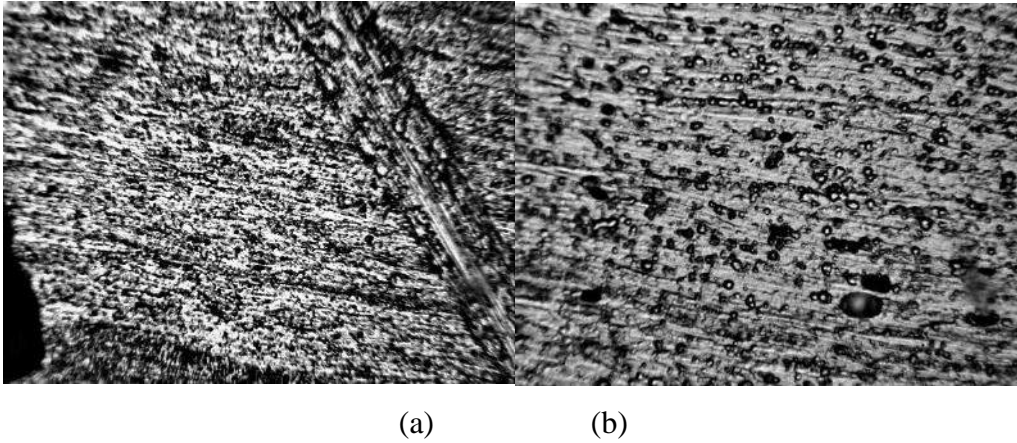
Gambar 0.14 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit (logam induk)

Pada Gambar IV.14 dapat disimpulkan presentase terang ( $Mg_2Al_3$  dan  $AlFeMnSi$ ) dan gelap ( $Mg_2Si$ ) menggunakan metode *point counting* yaitu 69.44% terang dan 30.56% gelap.



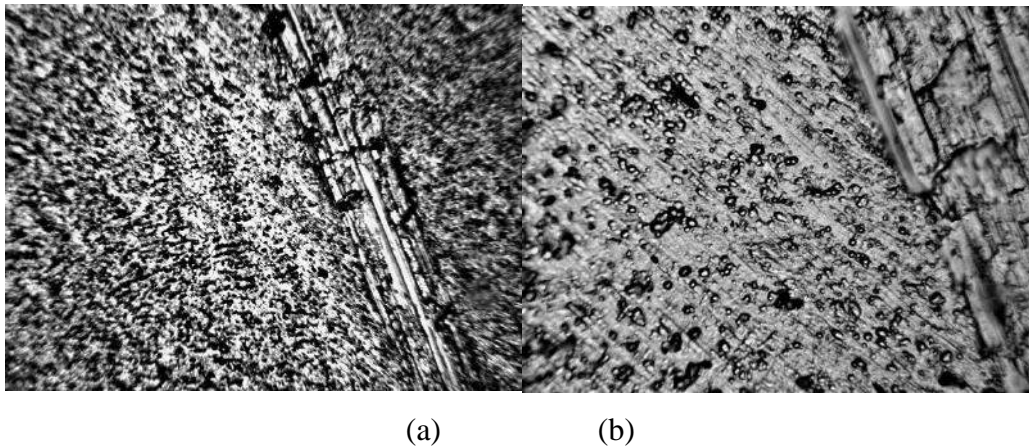
Gambar 0.15 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit (HAZ)

Pada Gambar IV.15 dapat disimpulkan presentase terang ( $Mg_2Al_3$  dan  $AlFeMnSi$ ) dan gelap ( $Mg_2Si$ ) menggunakan metode *point counting* yaitu 68.22% terang dan 31.78% gelap.



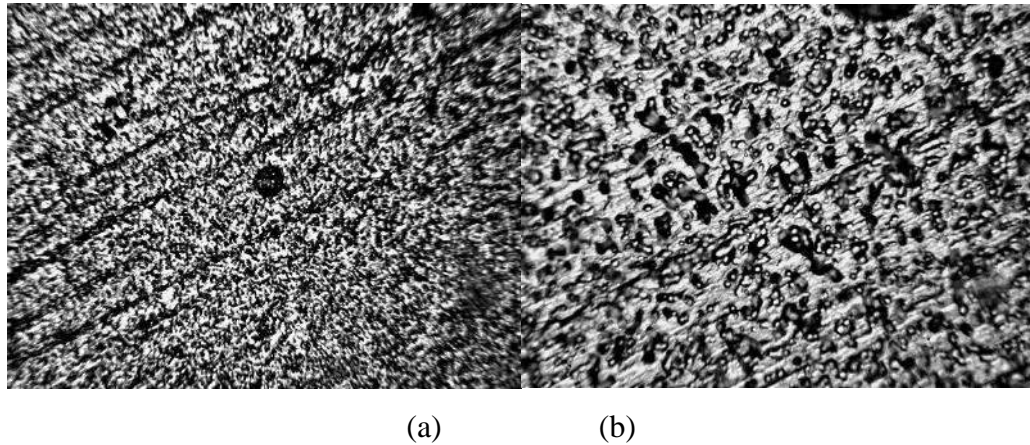
Gambar 0.16 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit (HAZ)

Pada Gambar IV.16 dapat disimpulkan presentase terang ( $Mg_2Al_3$  dan  $AlFeMnSi$ ) dan gelap ( $Mg_2Si$ ) menggunakan metode *point counting* yaitu 61.67% terang dan 38.33% gelap.



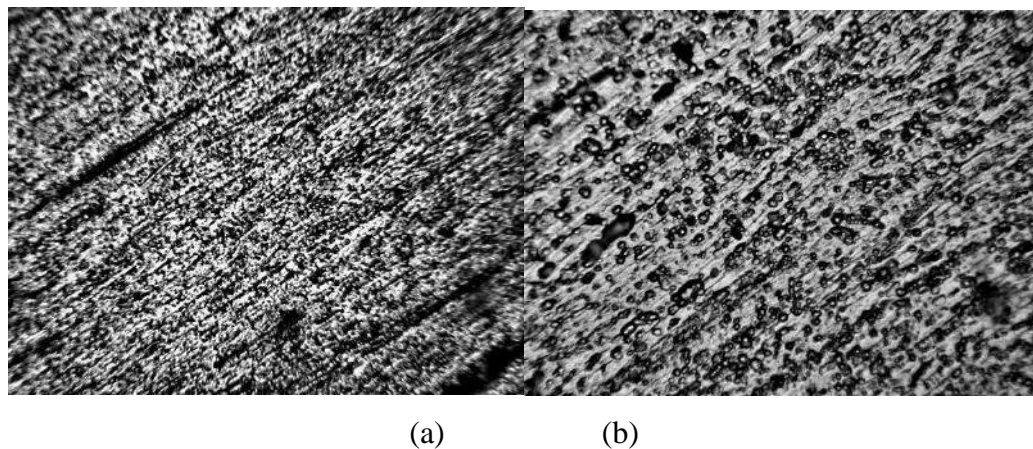
Gambar 0.17 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit (HAZ)

Pada Gambar IV.17 dapat disimpulkan presentase terang ( $Mg_2Al_3$  dan  $AlFeMnSi$ ) dan gelap ( $Mg_2Si$ ) menggunakan metode *point counting* yaitu 58.22% terang dan 41.78% gelap.



Gambar 0.18 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit (logam lasan)

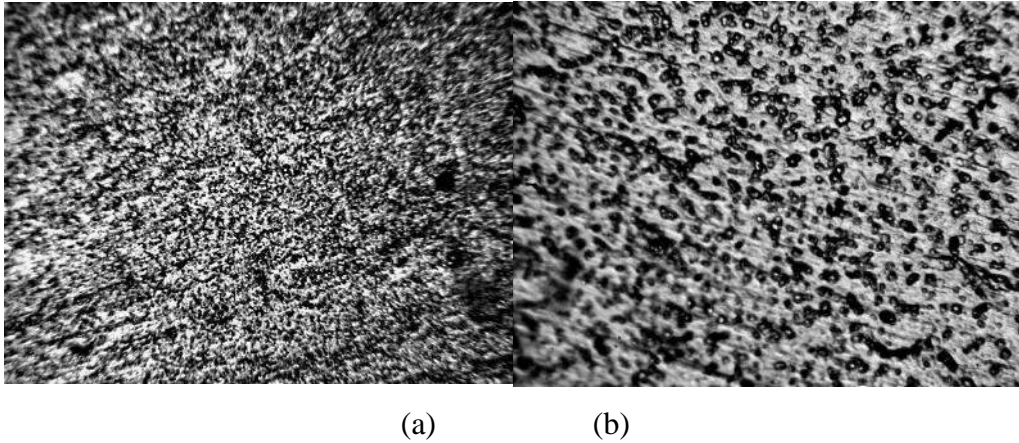
Pada Gambar IV.18 dapat disimpulkan presentase terang ( $Mg_2Al_3$  dan  $AlFeMnSi$ ) dan gelap ( $Mg_2Si$ ) menggunakan metode *point counting* yaitu 53.44% terang dan 46.44% gelap.



Gambar 0.19 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit (logam lasan)

Pada Gambar IV.19 dapat disimpulkan presentase terang ( $Mg_2Al_3$  dan  $AlFeMnSi$ ) dan gelap ( $Mg_2Si$ ) menggunakan metode *point counting* yaitu 52.56% terang dan 47.44% gelap.



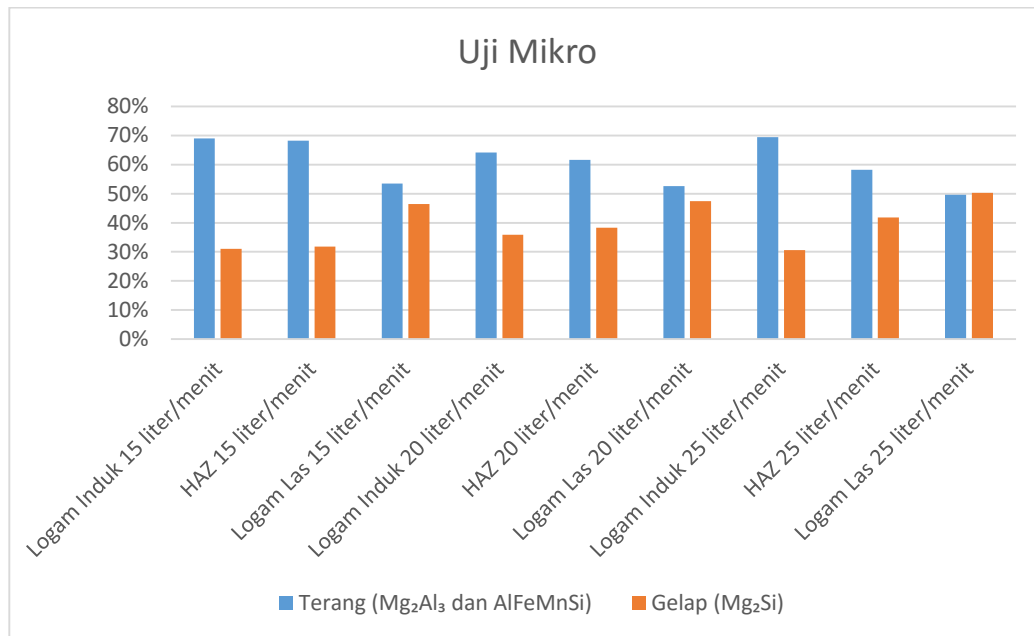


Gambar 0.20 Hasil foto mikro perbesaran (a)100x (b)400x pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit (logam lasan)

Pada Gambar IV.20 dapat disimpulkan presentase terang ( $Mg_2Al_3$  dan  $AlFeMnSi$ ) dan gelap ( $Mg_2Si$ ) menggunakan metode *point counting* yaitu 49.67% terang dan 50.33% gelap.

Tabel 0.4 Tabel rata-rata presentase hasil uji mikro

Rata - Rata	Presentase	
	Terang ( $Mg_2Al_3$ dan $AlFeMnSi$ )	Gelap ( $Mg_2Si$ )
Logam Induk 15 liter/menit	69%	31%
HAZ 15 liter/menit	68%	32%
Logam Las 15 liter/menit	53%	46%
Logam Induk 20 liter/menit	64%	36%
HAZ 20 liter/menit	62%	38%
Logam Las 20 liter/menit	53%	47%
Logam Induk 25 liter/menit	69%	31%
HAZ 25 liter/menit	58%	42%
Logam Las 25 liter/menit	50%	50%



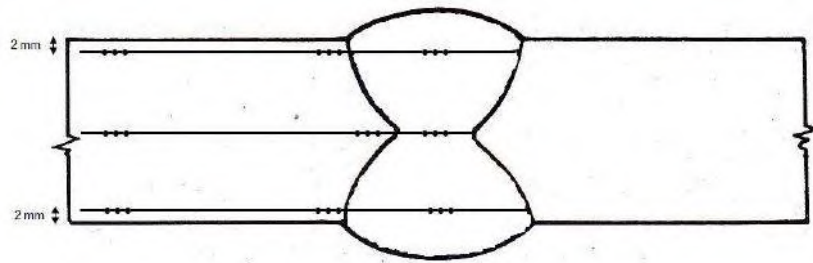
Gambar 0.21 Gambar perbandingan rata-rata presentase hasil uji mikro

Pada rata-rata hasil mikrostruktur Tabel IV.4 dan Gambar IV.21 dapat disimpulkan bahwa presentase terang ( $Mg_2Al_3$  dan  $AlFeMnSi$ ) lebih besar dari presentase gelap ( $Mg_2Si$ ) di daerah material induk. Namun semakin mendekati daerah HAZ dan logam las presentase terang ( $Mg_2Al_3$  dan  $AlFeMnSi$ ) semakin menurun dan presentase gelap ( $Mg_2Si$ ) semakin meningkat.

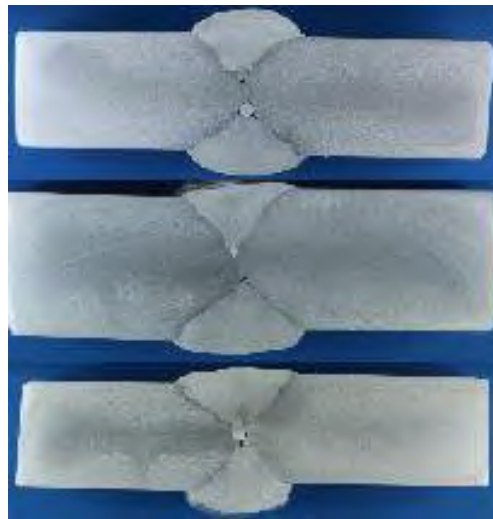
## 4.5 Pengujian Kekerasan

### 4.5.1 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya. Pengujian kekerasan (*hardness*) pada penelitian ini menggunakan jenis *Vickers Hardness*. Pada pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui kemampuan benda dalam menerima pembebanan atau identasi dengan beban dan waktu yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk pengujian kekerasan pada spesimen ini direncanakan pada Gambar 4.21



Gambar 0.22 Titik uji kekerasan vickers

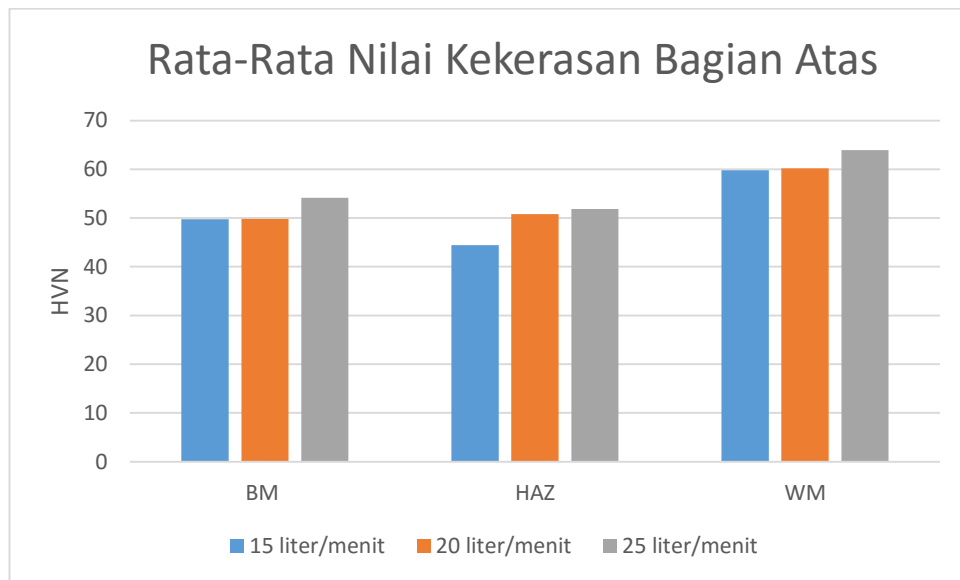


Gambar 0.23 Spesimen uji kekerasan

Tabel 0.5 Hasil pengujian kekerasan vickers bagian atas spesimen

Atas	15 liter/menit	20 liter/menit	25 liter/menit
BM	50.8	49.4	53
BM	48.2	49.5	57.1
BM	50.3	49.6	52.3
HAZ	50.5	52.6	52.5
HAZ	41.2	52.1	51.5
HAZ	41.5	47.6	51.5
WM	60.7	59.8	65.6
WM	58.5	59.6	63.5
WM	60.1	59.1	62.7

Rata-rata	15 liter/menit	20 liter/menit	25 liter/menit
BM	49.77	49.83	54.13
HAZ	44.40	50.77	51.83
WM	59.77	60.17	63.93



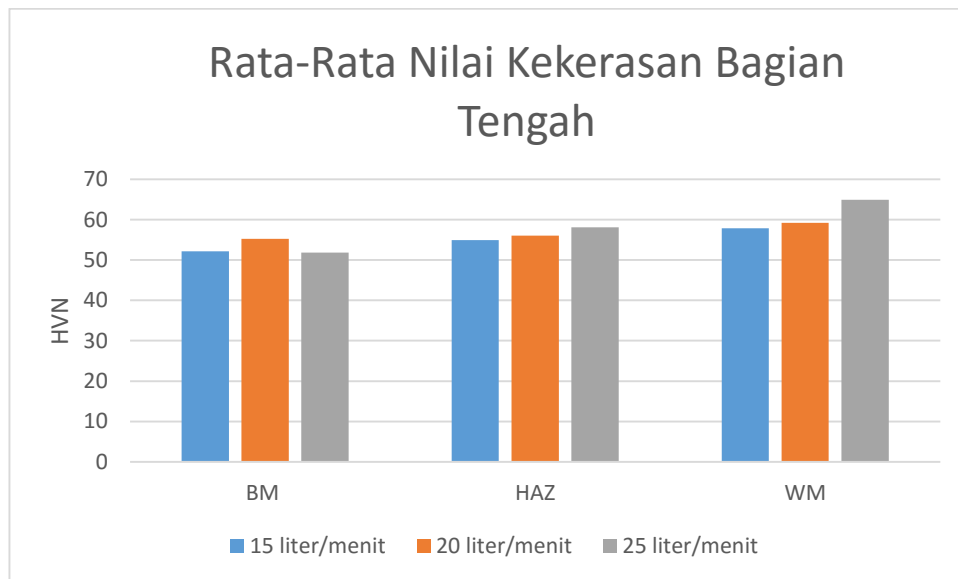
Gambar 0.24 Perbandingan grafik harga kekerasan vickers HVN bagian atas spesimen variasi aliran gas pelindung 15, 20, dan 25 liter/menit

Pada Tabel IV.4 dan Gambar IV.23 analisa di bagian atas spesimen untuk nilai tertinggi pada logam las, HAZ, dan logam induk terdapat saat variasi kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit yaitu sebesar 63,93 HVN untuk logam las 51,83 HVN untuk HAZ dan 54,13 HVN untuk logam induk lalu kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit sebesar 60,17 HVN untuk logam las 50,77 HVN untuk HAZ dan 49,83 HVN untuk logam induk dan yang terendah pada kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit sebesar 59,77 HVN untuk logam las 44,4 HVN untuk HAZ dan 49,77 HVN untuk logam induk.

Tabel 0.6 Hasil pengujian kekerasan vickers bagian tengah spesimen

Tengah	15 liter/menit	20 liter/menit	25 liter/menit
BM	51.2	53.3	52.5
BM	52.3	55	51.5
BM	52.9	57.5	51.5
HAZ	54.1	54.3	55.8
HAZ	50.7	56.4	58.4
HAZ	60	57.4	60
WM	62	62.7	62.3
WM	57.3	58	65.3
WM	54.2	54.9	67.1

Rata-rata	15 liter/menit	20 liter/menit	25 liter/menit
BM	52.13	55.27	51.83
HAZ	54.93	56.03	58.07
WM	57.83	59.20	64.90



Gambar 0.25 Perbandingan grafik harga kekerasan vickers HVN bagian tengah spesimen variasi aliran gas pelindung 15, 20, dan 25 liter/menit

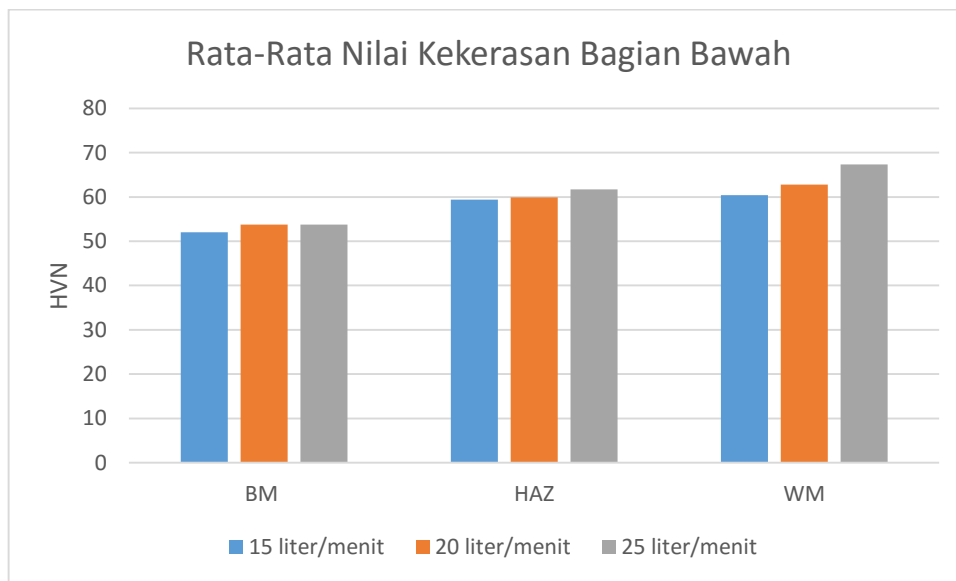
Pada Tabel IV.5 dan Gambar IV.24 analisa di bagian tengah spesimen untuk nilai tertinggi pada logam las, HAZ, dan logam induk terdapat saat variasi kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit yaitu sebesar 64,9 HVN untuk logam las 58,07

HVN untuk HAZ dan 51,83 HVN untuk logam induk lalu kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit sebesar 59,20 HVN untuk logam las 56,03 HVN untuk HAZ dan 55,27 HVN untuk logam induk dan yang terendah pada kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit sebesar 57,83 HVN untuk logam las 54,93 HVN untuk HAZ dan 52,13 HVN untuk logam induk.

Tabel 0.7 Hasil pengujian kekerasan vickers bagian bawah specimen

Bawah	15 liter/menit	20 liter/menit	25 liter/menit
BM	52.9	54.4	53.5
BM	51.1	52.2	53.6
BM	52.1	54.6	54.3
HAZ	63	59.5	63.3
HAZ	55	58.8	62.1
HAZ	60.2	60.4	59.7
WM	61.9	61.8	66.3
WM	62.7	63	66.1
WM	60.7	63.6	69.6

Rata-rata	15 liter/menit	20 liter/menit	25 liter/menit
BM	52.033	53.733	53.800
HAZ	59.400	59.900	61.700
WM	60.433	62.800	67.333



Gambar 0.26 Perbandingan grafik harga kekerasan vickers HVN bagian bawah spesimen variasi aliran gas pelindung 15, 20, dan 25 liter/menit

Pada Tabel IV.6 dan Gambar IV.25 analisa di bagian bawah spesimen untuk nilai tertinggi pada logam las, HAZ, dan logam induk terdapat saat variasi kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit yaitu sebesar 67,33 HVN untuk logam las 61,7 HVN untuk HAZ dan 53,8 HVN untuk logam induk lalu kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit sebesar 62,8 HVN untuk logam las 59,9 HVN untuk HAZ dan 53,73 HVN untuk logam induk dan yang terendah pada kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit sebesar 66,43 HVN untuk logam las 59,4 HVN untuk HAZ dan 52,03 HVN untuk logam induk.

#### 4.5.2 Kesimpulan Pengujian Kekerasan Vickers

Dari hasil uji kekerasan Vickers rata – rata dari spesimen terjadi kenaikan nilai kekerasan dari logam induk, HAZ hingga logam las baik dilakukan pengujian pada bagian atas tengah maupun bawah spesimen pada semua variasi pengelasan GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 15, 20, dan 25 liter/menit.

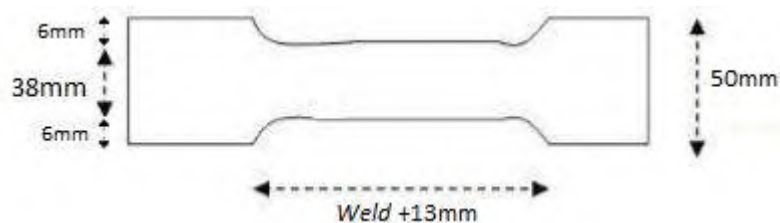
Jadi material aluminium seri 5050 yang dilas dengan metode pengelasan GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit memiliki nilai kekerasan

yang lebih besar jika dibandingkan dengan hasil pengelasan GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit dan 20 liter/menit.

#### 4.6 Pengujian Tarik

##### 4.6.1 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Teknik Perkapalan FTK-ITS Surabaya Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Sifat mekanis logam yang dapat diketahui setelah proses pengujian ini seperti kekuatan tarik, keuletan dan ketangguhan. Pengujian tarik sangat dibutuhkan untuk menentukan desain suatu produk karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Karena dengan pengujian tarik dapat diukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan.



Gambar 0.27 Bentuk standar material alumunium yang akan dilakukan uji tarik





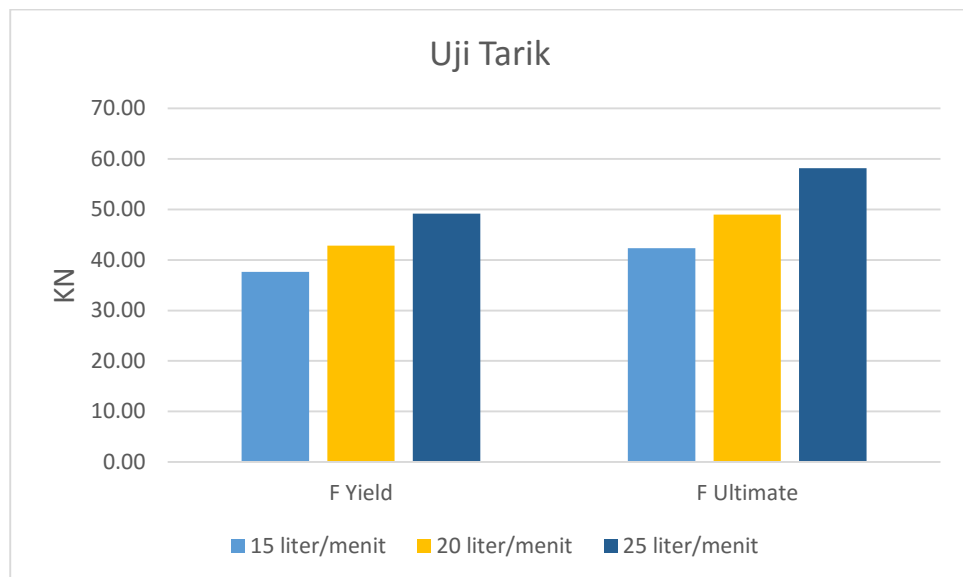
Gambar 0.28 Spesimen sebelum dilakukan uji tarik



Gambar 0.29 Spesimen setelah dilakukan uji tarik

Tabel 0.8 Hasil  $F_{Yield}$  dan  $F_{Ultimate}$  Pengujian Tarik Spesimen

Spesimen	Spesifikasi Spesimen			F Yield		F Ultimate		Rata-Rata	
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	KN	N	KN	N	F Yield	F Ultimate
B <sub>1</sub>	37.88	11.4	431.83	31	31000	36	36000	37.67	42.33
B <sub>2</sub>	38.01	11.78	447.76	52	52000	58	58000		
B <sub>3</sub>	38.12	11.85	451.72	30	30000	33	33000		
B <sub>4</sub>	38.21	11.63	444.38	37	37000	42	42000	42.83	49.00
B <sub>5</sub>	37.92	11.72	444.42	53.5	53500	63	63000		
B <sub>6</sub>	37.69	11.82	445.50	38	38000	42	42000		
B <sub>7</sub>	37.93	11.91	451.75	52	52000	59	59000	49.17	58.17
B <sub>8</sub>	38.16	12.17	464.41	54	54000	65	65000		
B <sub>9</sub>	37.2	11.87	441.56	41.5	41500	50.5	50500		



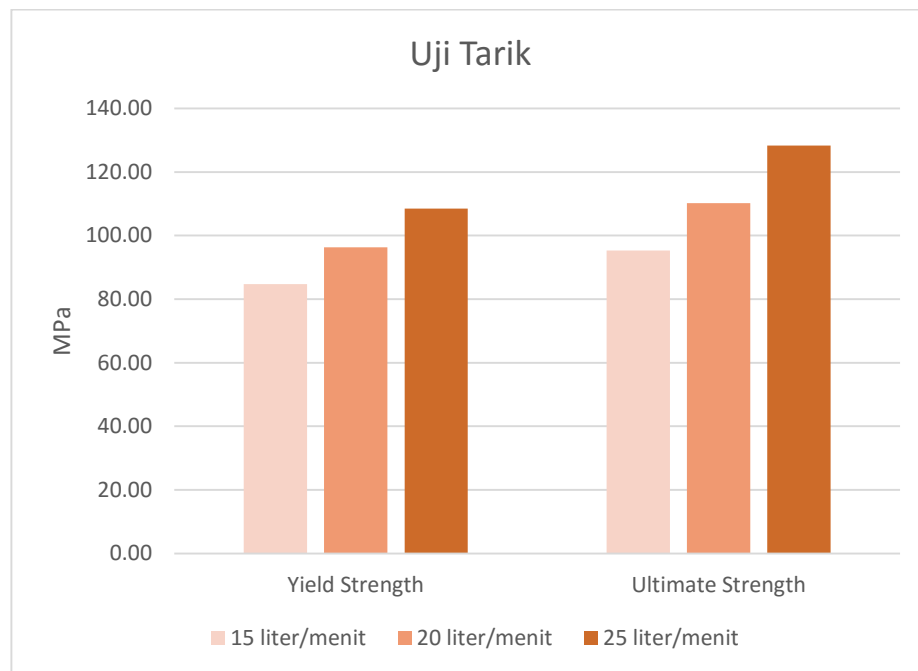
Gambar 0.30 Perbandingan grafik  $F_{Yield}$  dan  $F_{Ultimate}$  spesimen variasi kecepatan aliran gas pelindung 15, 20, dan 25 liter/menit

Pada Tabel IV.7 dan Gambar IV.29 dapat disimpulkan bahwa pengelasan yang dihasilkan dari metode GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 25

liter/menit lebih kuat dan padat dibandingkan dengan kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit dan 20 liter/menit karena material dapat putus dengan waktu lebih lama dan dengan beban maksimal rata-rata 58,17 kN sedangkan pada uji tarik untuk pengelasan metode GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit dan 20 liter/menit membutuhkan waktu lebih singkat dan rata-rata beban maksimal yang lebih kecil yaitu 42,3 kN dan 49 kN.

Tabel 0.9 Hasil Yield Strength dan Ultimate Strength pengujian tarik spesimen

Spesimen	Hasil Uji Tarik			Rata-Rata	
	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Ultimate Strength</i> (MPa)	Patah	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Ultimate Strength</i> (MPa)
B <sub>1</sub>	71.79	83.37	Weld Metal	84.78	95.32
B <sub>2</sub>	116.13	129.53	Weld Metal		
B <sub>3</sub>	66.41	73.05	Weld Metal		
B <sub>4</sub>	83.26	94.51	Weld Metal	96.31	110.18
B <sub>5</sub>	120.38	141.76	Weld Metal		
B <sub>6</sub>	85.30	94.28	Weld Metal		
B <sub>7</sub>	115.11	130.60	Weld Metal	108.46	128.31
B <sub>8</sub>	116.28	139.96	Weld Metal		
B <sub>9</sub>	93.98	114.37	Weld Metal		



Gambar 0.31 Perbandingan grafik Yield Strength dan Ultimate Strength spesimen variasi aliran gas pelindung 15, 20, dan 25 liter/menit

Pada Tabel IV.8 dan Gambar IV.30 dapat disimpulkan bahwa pengelasan yang dihasilkan dari metode GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit lebih kuat karena memiliki nilai *ultimate strength* tertinggi yaitu 128,31 MPa sedangkan untuk pengelasan metode GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit dan 20 liter/menit memiliki nilai *ultimate strength* 95,32 MPa dan 110,18 MPa.

#### 4.6.2 Kesimpulan Pengujian Tarik

Kesimpulan dari pengujian tarik spesimen pengelasan metode GMAW pada aluminium seri 5050 dengan kecepatan aliran gas pelindung adalah material aluminium seri 5050 yang dilas dengan metode pengelasan GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit memiliki hasil pengelasan yang lebih elastis atau ulet jika dibandingkan dengan hasil pengelasan GMAW dengan kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit dan 20 liter/menit yang lebih getas.

#### 4.7 Pengujian Korosi

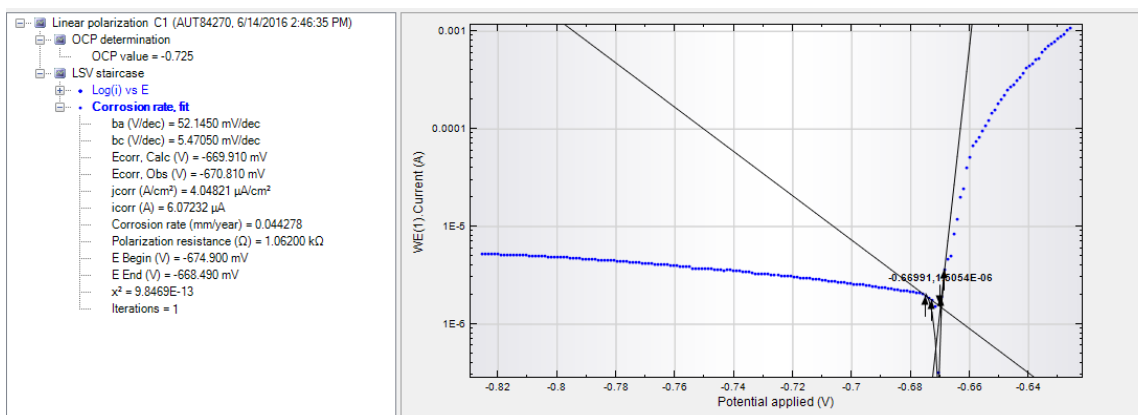
Pengujian korosi dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia FTI-ITS. Pengujian korosi dilakukan dengan menggunakan metode sel tiga elektroda dengan bantuan seperangkat peralatan Potensiostat Autolab (PGSTAT30) dan *software* NOVA. Secara otomatis *software* akan menunjukkan laju korosi dari benda yang diuji. Data lain yang didapat dari pengujian ini meliputi nilai rapat arus dan potensial. Perhitungan laju korosi juga dilakukan dengan menggunakan persamaan Hukum Faraday dengan cara memasukkan nilai kerapatan arus dari hasil pengujian ke persamaan Hukum Faraday. Kemudian hasilnya dibandingkan dan dianalisa.

Selain material itu sendiri data lain yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian yaitu massa jenis ( $\text{g/cm}^3$ ), *equivalent weight* ( $\text{g/mol}$ ), dan area yang terendam oleh larutan elektrolit ( $\text{cm}^2$ ). Dari hasil pengujian akan didapat diagram tafel yaitu diagram yang menunjukkan potensial dan kerapatan arus yang digunakan oleh peralatan uji korosi terhadap spesimen untuk menentukan laju korosi material. Sumbu x menunjukkan potensial sedangkan sumbu y menunjukkan nilai kerapatan arus. Setelah pengujian berhenti sesuai waktu yang sudah ditentukan yaitu 180 detik, diagram tafel akan membentuk titik-titik yang sesuai dengan potensial serta kerapatan arus pada spesimen berdasarkan waktu lamanya pengujian yang sudah ditentukan. Setelah itu harus dilakukan analisa dengan menarik dua garis lurus hingga bersilangan dengan aturan yang sudah ditentukan untuk memperoleh nilai laju korosi yang sesuai.

Hal yang diteliti dalam pengujian kali ini adalah pengaruh kecepatan aliran gas pelindung dengan variasi 15, 20 dan 25 liter/menit pada pengelasan GMAW material Aluminium seri 5050. Setiap variasi kecepatan aliran gas pelindung dilakukan analisa sebanyak tiga spesimen kemudian diambil rata-rata. Gambar IV.31 menjelaskan tentang data yang harus dimasukkan sebelum analisa spesimen dilakukan.

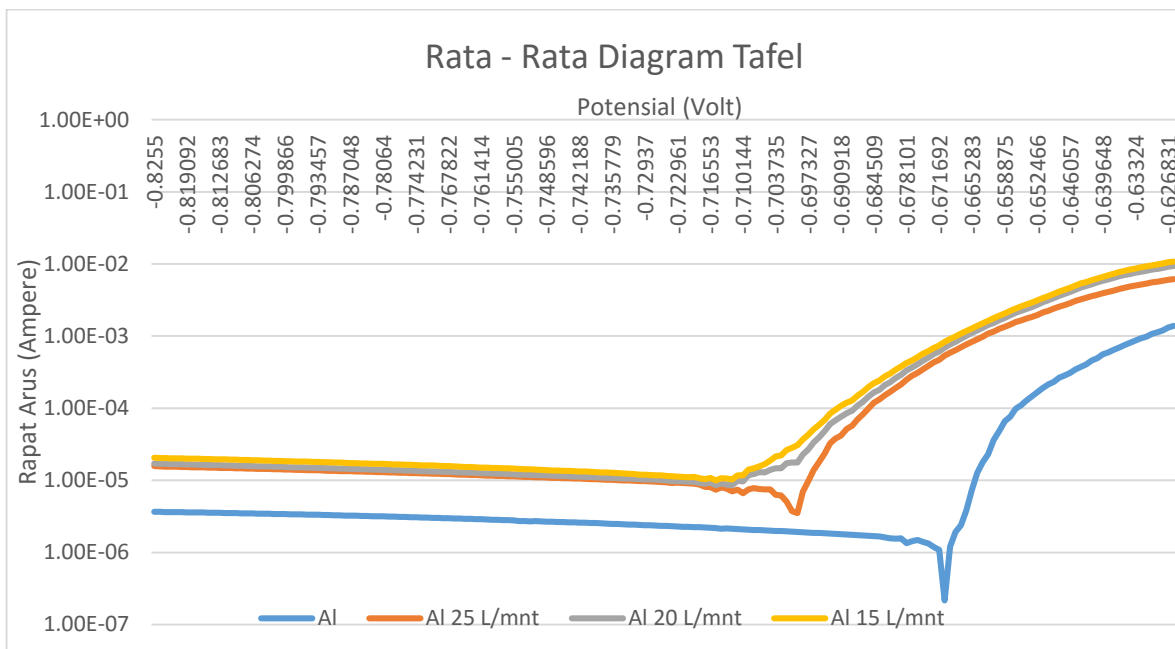
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.69
Equivalent weight (g/mol)	26.98
Surface area (cm <sup>2</sup> )	1.5
Number of significant digits	5
Reset	

Gambar 0.32 Data yang harus dimasukkan sebelum analisa



Gambar 0.33 Contoh diagram tafel dan hasil analisa

Gambar IV.32 menjelaskan tentang salah satu contoh diagram tafel dan hasil analisa yang diperoleh dari hasil pengujian spesimen Aluminium seri 5050 material induk C<sub>1</sub> tanpa perlakuan apapun. Diagram tersebut diperoleh setelah *software* NOVA berhenti dalam memproses data spesimen. Pada gambar tersebut diperoleh E corr sebesar -670.81 mV, I corr sebesar 1.34981  $\mu$ A/cm<sup>2</sup> dan laju korosi sebesar 0.044278 mm/year. Untuk pengujian spesimen yang lainnya dengan variasi kecepatan aliran gas pelindung 15, 20 dan 25 liter/menit dapat dilihat di dalam lampiran.



Gambar 0.34 Rata-rata diagram tafel spesimen

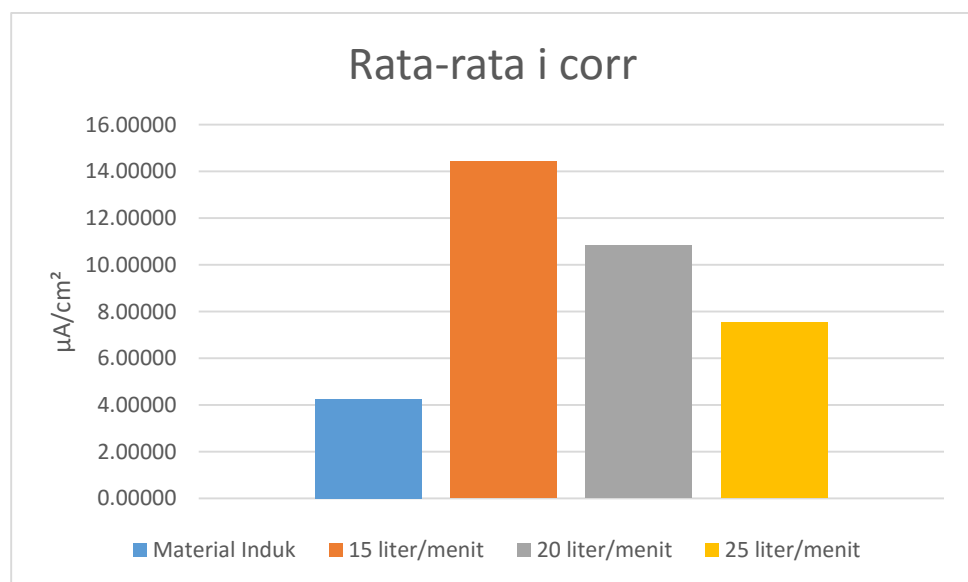
Gambar IV.33 menjelaskan tentang hasil rata-rata diagram tafel dari semua pengujian spesimen dengan variasi kecepatan aliran gas pelindung 15, 20 dan 25 liter/menit. Grafik yang memiliki nilai puncak semakin negatif atau potensial yang semakin negatif berarti memiliki laju korosi yang tinggi dan sebaliknya. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa laju korosi yang paling baik adalah spesimen tanpa pengelasan dengan rata-rata potensial 665.43 V, kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit dengan rata-rata potensial 702.75 V, kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit dengan rata-rata potensial 708 V dan terakhir kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit dengan rata-rata potensial 729.72 V.

Tabel 0.10 Hasil pengujian korosi menggunakan software NOVA

Material Pengelasan	Spesimen	i corr ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) NOVA	Rata-rata i corr ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Laju Korosi (mmpy) NOVA	Rata-rata (mmpy)
Aluminium Seri 5050 (Material Induk)	C <sub>1</sub>	4.04821	4.2574	0.0443	0.0464
	C <sub>2</sub>	4.52115		0.0487	
	C <sub>3</sub>	4.20283		0.0459	

Aluminium Seri 5050 (GMAW-15 liter/menit)	C <sub>4</sub>	15.54012	14.42925	0.16981	0.1580
	C <sub>5</sub>	15.25251		0.16752	
	C <sub>6</sub>	12.49511		0.13668	
Aluminium Seri 5050 (GMAW-20 liter/menit)	C <sub>7</sub>	9.68882	10.83448	0.10588	0.1187
	C <sub>8</sub>	10.82211		0.11899	
	C <sub>9</sub>	11.99251		0.13115	
Aluminium Seri 5050 (GMAW-25 liter/menit)	C <sub>10</sub>	7.55566	7.54418	0.08211	0.0823
	C <sub>11</sub>	8.53558		0.09337	
	C <sub>12</sub>	6.54129		0.07155	

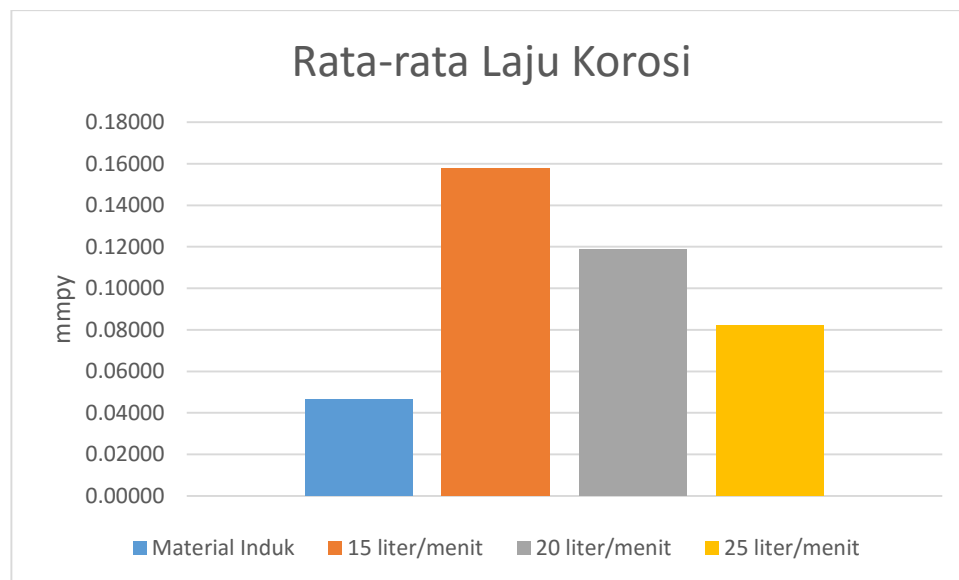
Dari data pada Tabel IV.9 dapat diketahui bahwa nilai kerapatan arus dan laju korosi setiap spesimen berbeda-beda. Hal ini bisa dipengaruhi banyak hal seperti tempat penyimpanan material, pencelupan material yang kurang presisi atau juga karena luas penampang yang diteliti nilainya kurang tepat. Oleh karena itu dilakukan pengulangan setiap spesimen yaitu sebanyak tiga kali untuk nantinya diambil rata-rata. Namun perbedaan yang terjadi pada spesimen saat dilakukan pengulangan tidak akan terlihat signifikan.



Gambar 0.35 Diagram perbandingan rata-rata  $i_{corr}$  ( $\mu A/cm^2$ ) setiap variasi



Dari data pada Tabel IV.9 dan Gambar IV.34 dapat diketahui bahwa nilai rapat arus spesimen semakin kecil saat kecepatan aliran gas pelindung semakin besar dan sebaliknya. Pada Tabel IV.9 dapat dilihat nilai rapat arus tertinggi adalah pada kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit sebesar  $14.42925 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Sedangkan nilai rapat arus terendah adalah saat kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit sebesar  $7.54418 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  (material induk tidak diperhitungkan).



Gambar 0.36 Diagram perbandingan rata-rata laju korosi (mmpy) setiap variasi

Dari data Tabel IV.9 dan Gambar IV.35 dapat diketahui nilai laju korosi spesimen, yaitu semakin kecil kecepatan aliran gas pelindung maka nilai laju korosinya akan semakin besar. Pada tabel dapat dilihat nilai laju korosi tertinggi adalah spesimen dengan kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit yaitu 0.158 mmpy. Sedangkan nilai laju korosi terendah adalah spesimen dengan kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit yaitu 0.0823 mmpy (material induk tidak diperhitungkan).

Hal ini menunjukkan bahwa nilai laju korosi berbanding lurus dengan nilai rapat arus yaitu semakin besar rapat arus pada spesimen maka laju korosi pada spesimen tersebut juga ikut membesar dan sebaliknya semakin kecil rapat arus pada spesimen maka laju korosi pada spesimen tersebut juga ikut mengecil.

#### 4.7.1 Hukum Faraday

Dari data hasil pengujian laju korosi dengan menggunakan *software* NOVA selain didapatkan nilai laju korosi juga diperoleh nilai rapat arus yang selanjutnya nilai dari rapat arus tersebut dimasukkan ke dalam rumus Hukum Faraday sebagai berikut:

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K \times a \times i}{n \times D}$$

Di mana:

Laju korosi dengan satuan mmpy

a = Berat atom logam yang terkorosi (gram/mol) = 26.98 untuk Al

i = i corr (μA/cm<sup>2</sup>)

k = konstanta (0.00327 untuk mmpy)

n = jumlah elektron yang dilepas pada logam terkorosi = 3

D = masa jenis logam terkorosi (gram/cm<sup>3</sup>) = 2.69 untuk Al

Setelah semua dihitung dengan memasukkan nilai i corr yang diketahui pada setiap spesimen maka didapatkan hasil laju korosi seperti Tabel IV.10

Tabel 0.11 Hasil pengujian korosi menggunakan hukum faraday

Material Pengelasan	Spesimen	i corr (μA/cm <sup>2</sup> ) NOVA	Laju Korosi (mmpy) Hukum Faraday	Rata-rata (mmpy)
Aluminium Seri 5050 (Material Induk)	C <sub>1</sub>	4.04821	0.04426	0.0465
	C <sub>2</sub>	4.52115	0.04943	
	C <sub>3</sub>	4.20283	0.04595	

Aluminium Seri 5050 (GMAW-15 liter/menit)	C <sub>4</sub>	15.54012	0.16989	0.1577
	C <sub>5</sub>	15.25251	0.16675	
	C <sub>6</sub>	12.49511	0.13661	
Aluminium Seri 5050 (GMAW-20 liter/menit)	C <sub>7</sub>	9.68882	0.10592	0.1185
	C <sub>8</sub>	10.82211	0.11831	
	C <sub>9</sub>	11.99251	0.13111	
Aluminium Seri 5050 (GMAW-25 liter/menit)	C <sub>10</sub>	7.55566	0.0826	0.0825
	C <sub>11</sub>	8.53558	0.09331	
	C <sub>12</sub>	6.54129	0.07151	

Nilai yang diperoleh dari perhitungan rumus Hukum Faraday jika dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dengan *software* NOVA memiliki hasil yang hampir sama. Jadi dapat disimpulkan bahwa pengerjaan panas pada material aluminium akan mempengaruhi struktur mikro material dan menyebabkan daya tahan material terhadap laju korosi semakin menurun karena pemanasan pada saat pengelasan terjadi hanya pada daerah yang akan dilas saja atau disebut pemanasan lokal. Akibat pemanasan lokal dengan temperatur yang tinggi menyebabkan logam mengalami ekspansi termal. Sehingga, menyebabkan adanya tegangan sisa yang memicu terjadinya korosi. Selain itu kecepatan aliran gas pelindung juga mempengaruhi tingkat laju korosi spesimen di mana kecepatan aliran gas pelindung yang lebih tinggi yaitu 25 liter/menit memiliki daya tahan terhadap korosi yang lebih baik jika dibandingkan dengan kecepatan aliran gas pelindung sebesar 15 dan 20 liter/menit.

## Lampiran Gambar Hasil Pengelasan

Base Metal Material : ALUMANIUM 5050 Thickness : 12mm  Filler Metal F-No. A5.10 AWS. 5356					Shielding Gas (es) Argon HP. 99,99 % Flow rate : 15 MPa			
Electrical characteristic								
Weld SMAW Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (mm/min)	
		Aws No.	Diameter (mm)					
1	GMAW	A5.10	1,2	DCSP	140 - 160	21 - 24	134	
2	GMAW	A5.10	1,2	DCSP	140 - 160	21 - 24	126	
Heat Input								
Technique String or weave Bead : Both Initial and Interpass cleaning : Grinding Method of back gouging : N/A Multiple or Single pass : Multiple pass Multiple or Single electrode : Multiple Electrode Peening : NO								

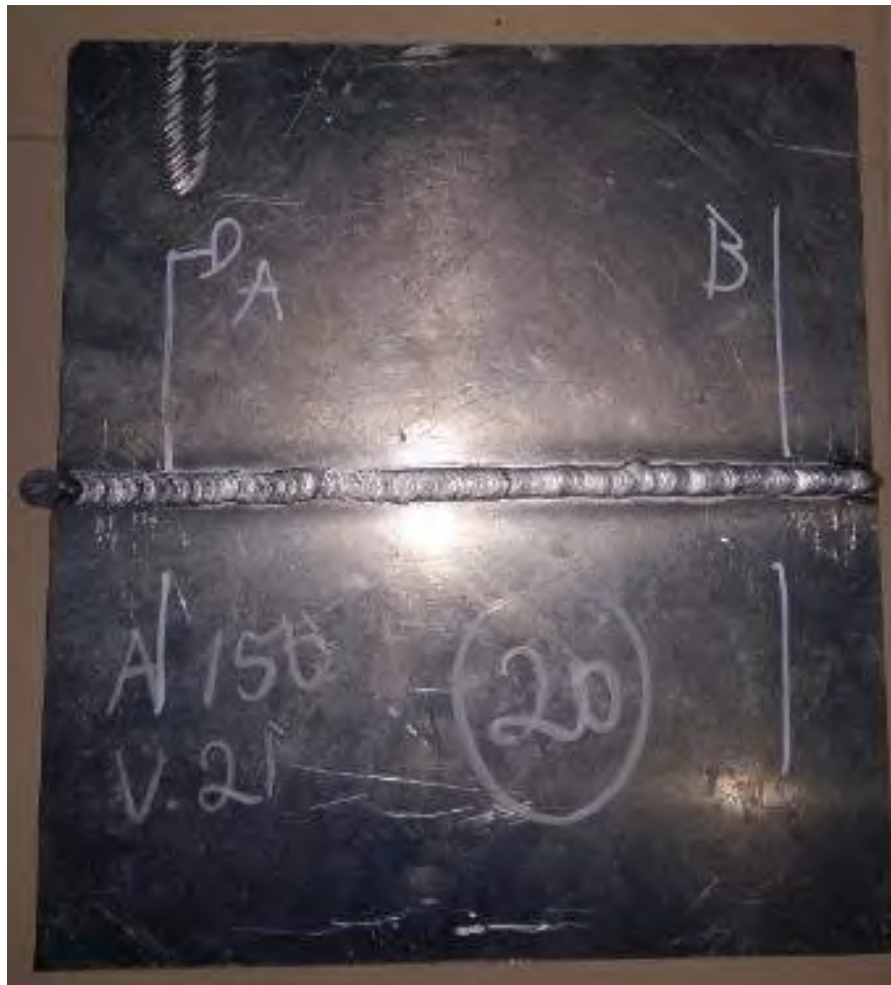
Gambar 1. *Welding Procedure Specification* pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit



*Gambar 2.* Hasil pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 15 liter/menit

Base Metal Material : ALUMANIUM 5050 Thickness : 12mm					Shielding Gas (cs) Argon HP. 99,99 % Flow rate : 20 MPa			
Filler Metal F-No. A5.10 AWS. 5356								
Electrical characteristic								
Weld SMAW Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (mm/min)	
		Aws No.	Diameter (mm)					
1	GMAW	A5.10	1,2	DCSP	140 - 160	21 - 24	147	
2	GMAW	A5.10	1,2	DCSP	140 - 160	21 - 24	129	
Heat Input								
Technique String or weave Bead : Both Initial and Interpass cleaning : Grinding Method of back gouging : N/A Multiple or Single pass : Multiple pass Multiple or Single electrode : Multiple Electrode Peening : NO								

Gambar 3. *Welding Procedure Specification* pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit



Gambar 4. Hasil pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 20 liter/menit



Base Metal Material : ALUMANIUM 5050 Thickness : 12mm				Shielding Gas (cs) Argon HP. 99.99 % Flow rate : 25 MPa			
Filler Metal F-No. A5.10 AWS. 5356							
Electrical characteristic							
Weld SMAW Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (mm/min)
		Aws No.	Diameter (mm)				
1	GMAW	A5.10	1,2	DCSP	140 - 160	21 - 24	141
2	GMAW	A5.10	1,2	DCSP	140 - 160	21 - 24	136
Heat Input							
Technique String or weave Bead : Both Initial and Interpass cleaning : Grinding Method of back gouging : N/A Multiple or Single pass : Multiple pass Multiple or Single electrode : Multiple Electrode Peening : NO							

Gambar 5. *Welding Procedure Specification* pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit





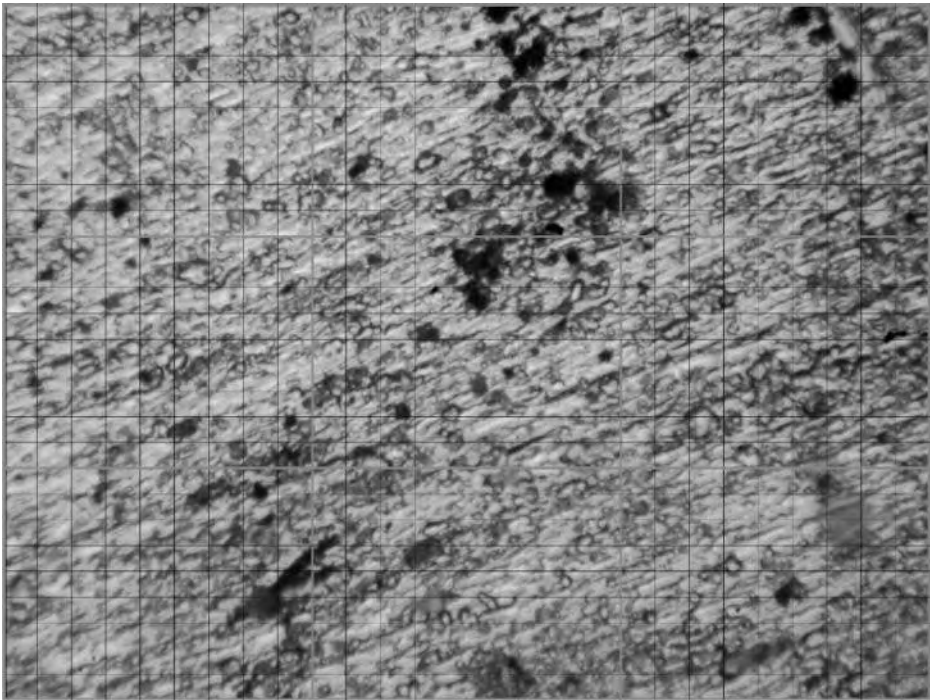
Gambar 6. Hasil pengelasan GMAW pelat aluminium seri 5050 dengan variasi aliran gas pelindung 25 liter/menit

## Lampiran Hasil Laporan Uji Radiografi (NDT)

ROBUTECH		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT		Sheet 1 of 1											
Customer :		Report No. :	001-RT/RBT-TA/IV/16												
Project Name :	TUGAS AKHIR	Drawing No. :													
Location :	SURABAYA	Procedure No. :	RBT-P-10												
Work Order No. :		Applicable Code :	AWS D1.2												
<b>PART</b>		<b>RADIATION SOURCE</b>		<b>RADIOGRAPHIC FILM</b>											
Name :	PLATE	Isotope Type :	-	Brand :	AGFA										
OD :	-	Activity :	-	Film Type :	D7										
Base Mat'l Type :	Al 5050	X-ray Equipment :	Eresco	Dimension :	4X15"										
Base Mat'l Thk. :	12 mm	Voltage :	140 Kv	No. of Film in a Cassette :	1										
Reinforcement :	3 mm	Current :	2 mA	Lead letter "B" used :											
Backing :	Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Source Size (mm) :	3	Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>											
<b>TECHNIQUE</b>		<b>EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH</b>		<b>LEAD SCREEN</b>											
Exposure :	Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/>			Thickness: 0,125 mm											
Viewing :	Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Panoramic <input type="checkbox"/> SWSV <input checked="" type="checkbox"/> SWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>		Placement: <input checked="" type="checkbox"/> Front <input type="checkbox"/> Back											
Exposure Time :	10 Sec.			<b>MARKER</b>											
Ug :	0.51 mm	<input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWSV <input type="checkbox"/> DWDV <input type="checkbox"/>		Placement: Source Side <input type="checkbox"/> Film Side <input checked="" type="checkbox"/>											
SOD :	700			Set: 1B Wire ID: 7											
SSDF :	12 mm			Dia.: 0.33 mm											
Note:		Note for sketch: 1. SWSV: Single Wall Single Viewing 2. DWSV: Double Wall Single Viewing 3. Other than listed (Please Sketch)		Hole Designation: _____											
SOD :	Source to Object Distance			Visible Hole: 1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 4T <input type="checkbox"/>											
SSDF :	Source side to Object Film			Placement: Source Side <input checked="" type="checkbox"/> Film Side <input type="checkbox"/>											
				DENSITY: Min :2 Max :4											
Date of RT	Welder Stamp	Identification		Sensitivity	Discontinuity								Result		Remark / Comment
		Joint Name	Interest Area		IF	IP	RC	UC	P	INC	CR	Acc	Rep		
19/04/16	-	A150 V21	A-B	6 Wires	v								-	Rep	FAILED
		15 L/min.													
	-	A150 V21	A-B	6 Wires	v								-	Rep	FAILED
		20 L/min.													
	-	A150 V21	A-B	6 Wires	v								-	Rep	FAILED
		25 L/min.													
Type of Discontinuity : IF : Incomplete Fusion, IP: Incomplete Penetration, UC:Undercut, RC:Root Concavity, P:Porosity, INC:Inclusion, CR: Crack Welding Process(es) : GMAW Total Film/s : 4" x 10" = 3 Sheet/s 4" x 15" = 3 Sheet/s Examined By, Reviewed/Witnessed By, Reviewed/Witnessed By, Reviewed/Witnessed By,															
 NDT Level II Date: 20-04-2016		Date:		Date:		Date:									

Gambar 7. Hasil Non Destructive Test (NDT) Radiographic Test

Lampiran Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro



Gambar 8. Uji struktur mikro material induk pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit

Tabel 1. Perhitungan presentase struktur mikro material induk pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
A	1	6	4	0.65	0.35
	2	7	3		
	3	7	3		
	4	4	6		
	5	7	3		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	7	3		
	9	7	3		
	10	7	3		
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
B	1	7	3	0.64	0.36
	2	7	3		
	3	8	2		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	5	5		
	8	7	3		
	9	7	3		
	10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
C	1	5	5	0.7	0.3
	2	8	2		
	3	6	4		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	5	5		
	7	7	3		
	8	8	2		
	9	8	2		
	10	9	1		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
F	1	8	2	0.76	0.24
	2	9	1		
	3	7	3		
	4	9	1		
	5	9	1		
	6	7	3		
	7	8	2		
	8	6	4		
	9	7	3		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
D	1	5	5	0.65	0.35
	2	7	3		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	5	5		
	7	8	2		
	8	8	2		
	9	7	3		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
G	1	5	5	0.69	0.31
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	8	2		
	5	7	3		
	6	8	2		
	7	9	1		
	8	6	4		
	9	5	5		
	10	8	2		

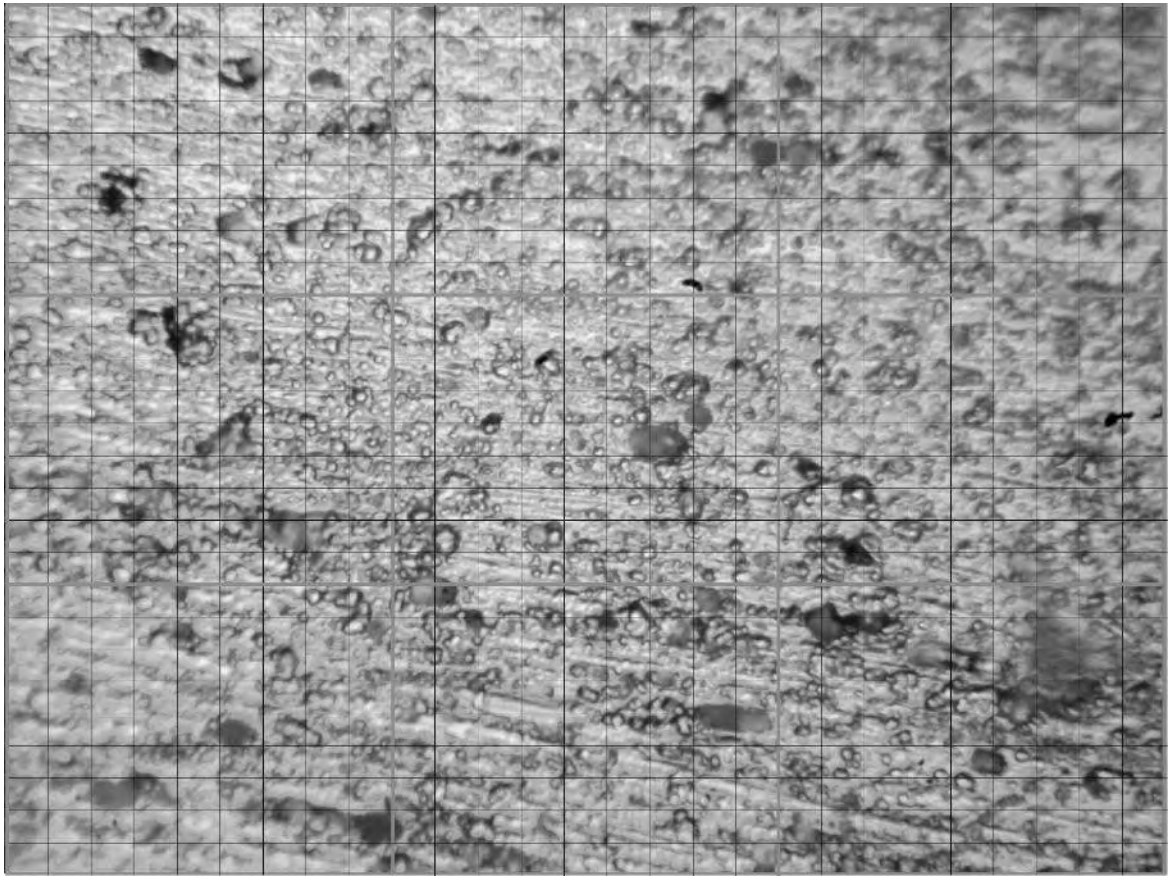
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
E	1	6	4	0.71	0.29
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	8	2		
	7	7	3		
	8	9	1		
	9	6	4		
	10	8	2		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
H	1	8	2	0.7	0.3
	2	7	3		
	3	8	2		
	4	7	3		
	5	8	2		
	6	6	4		
	7	9	1		
	8	5	5		
	9	5	5		
	10	7	3		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
I	1	7	3	0.71	0.29
	2	7	3		
	3	8	2		
	4	8	2		
	5	8	2		
	6	7	3		
	7	6	4		
	8	6	4		
	9	9	1		
	10	5	5		

	Terang	Gelap
<i>Average</i>	0.69	0.31
<i>Percentage</i>	69%	31%





Gambar 9. Uji struktur mikro HAZ pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit

Tabel 2. Perhitungan presentase struktur mikro HAZ pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
A	1	9	1	0.75	0.25
	2	7	3		
	3	7	3		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	7	3		
	7	8	2		
	8	8	2		
	9	7	3		
	10	9	1		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
B	1	9	1	0.69	0.31
	2	7	3		
	3	8	2		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	6	4		
	7	6	4		
	8	7	3		
	9	7	3		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
C	1	6	4	0.73	0.27
	2	8	2		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	8	2		
	9	8	2		
	10	9	1		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
F	1	7	3	0.69	0.31
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	8	2		
	7	7	3		
	8	7	3		
	9	7	3		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
D	1	6	4	0.72	0.28
	2	7	3		
	3	8	2		
	4	7	3		
	5	8	2		
	6	6	4		
	7	8	2		
	8	8	2		
	9	7	3		
	10	7	3		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
G	1	5	5	0.6	0.4
	2	5	5		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	8	2		
	8	6	4		
	9	5	5		
	10	6	4		

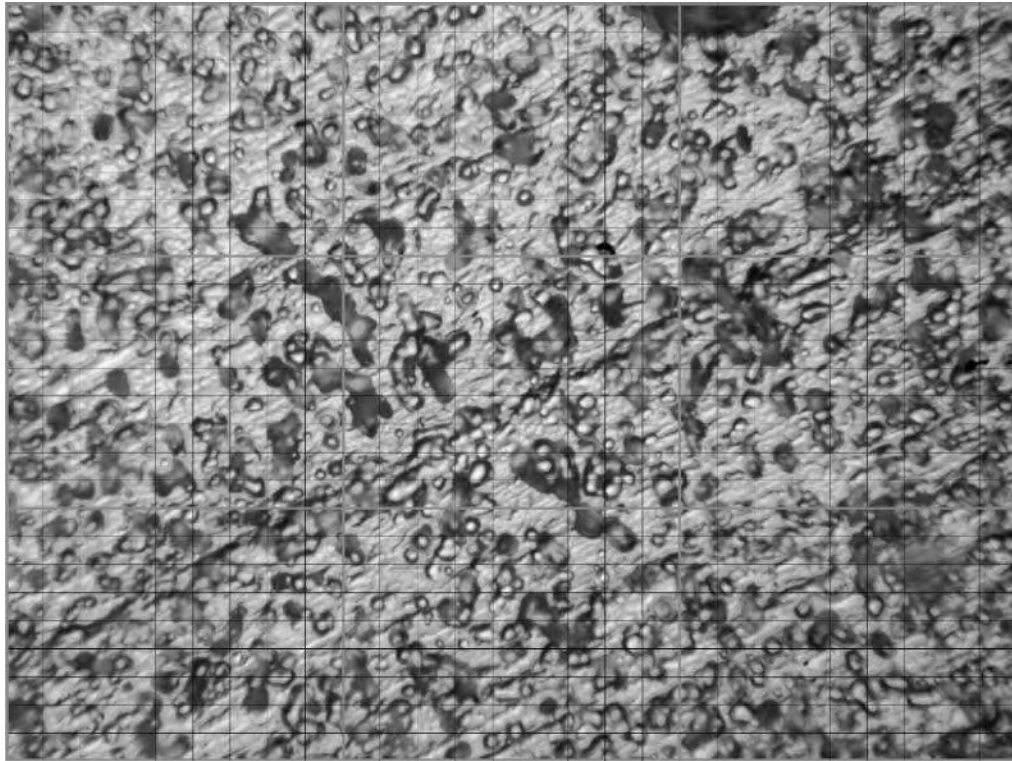
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
E	1	7	3	0.71	0.29
	2	8	2		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	8	2		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	8	2		
	9	6	4		
	10	7	3		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
H	1	7	3	0.62	0.38
	2	5	5		
	3	6	4		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	5	5		
	7	6	4		
	8	5	5		
	9	7	3		
	10	8	2		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
I	1	8	2	0.63	0.37
	2	7	3		
	3	6	4		
	4	5	5		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	7	3		
	8	6	4		
	9	5	5		
	10	6	4		

	Terang	Gelap
<i>Average</i>	0.68	0.32
<i>Percentage</i>	68%	32%





Gambar 10. Uji struktur mikro logam las pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit

Tabel 3. Perhitungan presentase struktur mikro logam las pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100	Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
A	1	6	4	0.58	0.42	B	1	7	3	0.58	0.42
	2	5	5				2	5	5		
	3	4	6				3	4	6		
	4	4	6				4	6	4		
	5	5	5				5	6	4		
	6	6	4				6	6	4		
	7	7	3				7	5	5		
	8	7	3				8	7	3		
	9	7	3				9	7	3		
	10	7	3				10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
C	1	5	5	0.63	0.36
	2	8	2		
	3	6	4		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	5	5		
	7	7	3		
	8	5	5		
	9	5	5		
	10	8	1		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
F	1	3	7	0.48	0.52
	2	4	6		
	3	4	6		
	4	5	5		
	5	6	4		
	6	4	6		
	7	5	5		
	8	5	5		
	9	7	3		
	10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
D	1	5	5	0.57	0.43
	2	6	4		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	5	5		
	7	6	4		
	8	4	6		
	9	7	3		
	10	6	4		

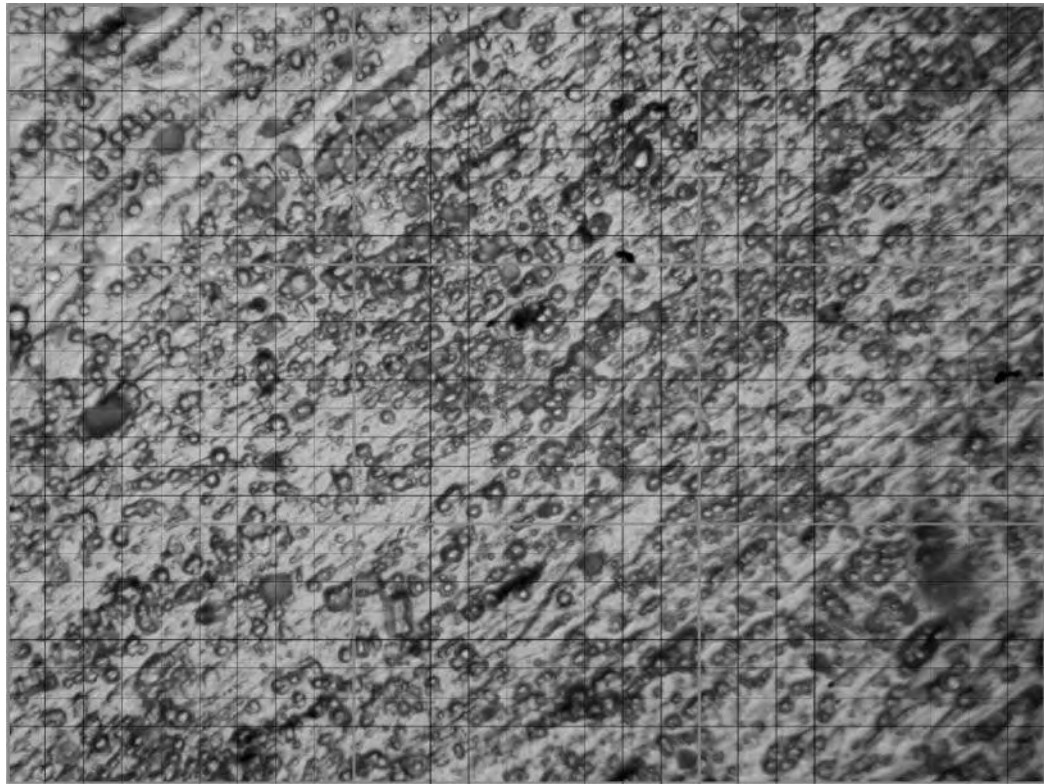
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
G	1	5	5	0.48	0.52
	2	4	6		
	3	3	7		
	4	5	5		
	5	4	6		
	6	5	5		
	7	4	6		
	8	7	3		
	9	6	4		
	10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
E	1	6	4	0.49	0.51
	2	6	4		
	3	5	5		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	5	5		
	7	4	6		
	8	4	6		
	9	4	6		
	10	3	7		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
H	1	5	5	0.53	0.47
	2	6	4		
	3	5	5		
	4	6	4		
	5	5	5		
	6	5	5		
	7	4	6		
	8	6	4		
	9	6	4		
	10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
I	1	5	5	0.47	0.53
	2	4	6		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	5	5		
	6	5	5		
	7	4	6		
	8	4	6		
	9	4	6		
	10	4	6		

	Terang	Gelap
<i>Average</i>	0.53	0.46
<i>Percentage</i>	53%	46%



Gambar 11. Uji struktur mikro logam induk pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit

Tabel 4. Perhitungan presentase struktur mikro logam induk pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
A	1	4	6	0.56	0.44
	2	5	5		
	3	6	4		
	4	5	5		
	5	5	5		
	6	6	4		
	7	5	5		
	8	6	4		
	9	7	3		
	10	7	3		
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
B	1	7	3	0.54	0.46
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	6	4		
	5	4	6		
	6	4	6		
	7	5	5		
	8	4	6		
	9	5	5		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
C	1	6	4	0.59	0.41
	2	7	3		
	3	7	3		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	6	4		
	8	5	5		
	9	5	5		
	10	4	6		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
F	1	8	2	0.66	0.34
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	5	5		
	7	8	2		
	8	6	4		
	9	7	3		
	10	7	3		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
D	1	6	4	0.73	0.27
	2	8	2		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	9	1		
	7	6	4		
	8	7	3		
	9	9	1		
	10	7	3		

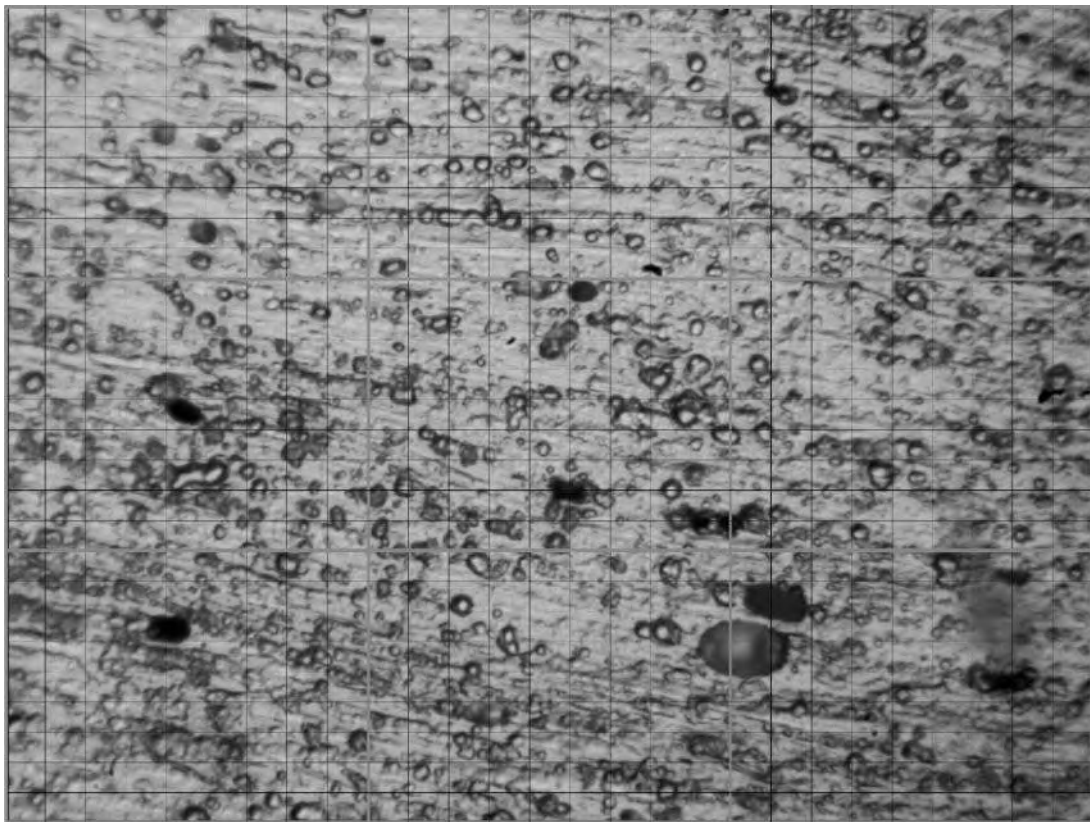
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
G	1	7	3	0.67	0.33
	2	6	4		
	3	5	5		
	4	8	2		
	5	8	2		
	6	7	3		
	7	7	3		
	8	6	4		
	9	6	4		
	10	7	3		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
E	1	7	3	0.71	0.29
	2	7	3		
	3	8	2		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	8	2		
	9	6	4		
	10	8	2		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
H	1	7	3	0.7	0.3
	2	8	2		
	3	8	2		
	4	9	1		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	7	3		
	8	6	4		
	9	7	3		
	10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
I	1	5	5	0.61	0.39
	2	6	4		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	6	4		
	8	5	5		
	9	7	3		
	10	7	3		

	Terang	Gelap
<i>Average</i>	0.64	0.36
<i>Percentage</i>	64%	36%



Gambar12. Uji struktur mikro HAZ pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit

Tabel 5. Perhitungan presentase struktur mikro HAZ pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
A	1	6	4	0.69	0.31
	2	7	3		
	3	7	3		
	4	8	2		
	5	7	3		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	6	4		
	9	8	2		
	10	7	3		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
B	1	7	3	0.65	0.35
	2	6	4		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	7	3		
	9	6	4		
	10	8	2		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
C	1	8	2	0.64	0.36
	2	6	4		
	3	5	5		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	7	3		
	9	6	4		
	10	7	3		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
F	1	6	4	0.59	0.41
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	5	5		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	6	4		
	8	5	5		
	9	5	5		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
D	1	6	4	0.59	0.41
	2	6	4		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	6	4		
	7	6	4		
	8	5	5		
	9	5	5		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
G	1	4	6	0.54	0.46
	2	5	5		
	3	5	5		
	4	5	5		
	5	4	6		
	6	4	6		
	7	7	3		
	8	8	2		
	9	7	3		
	10	5	5		

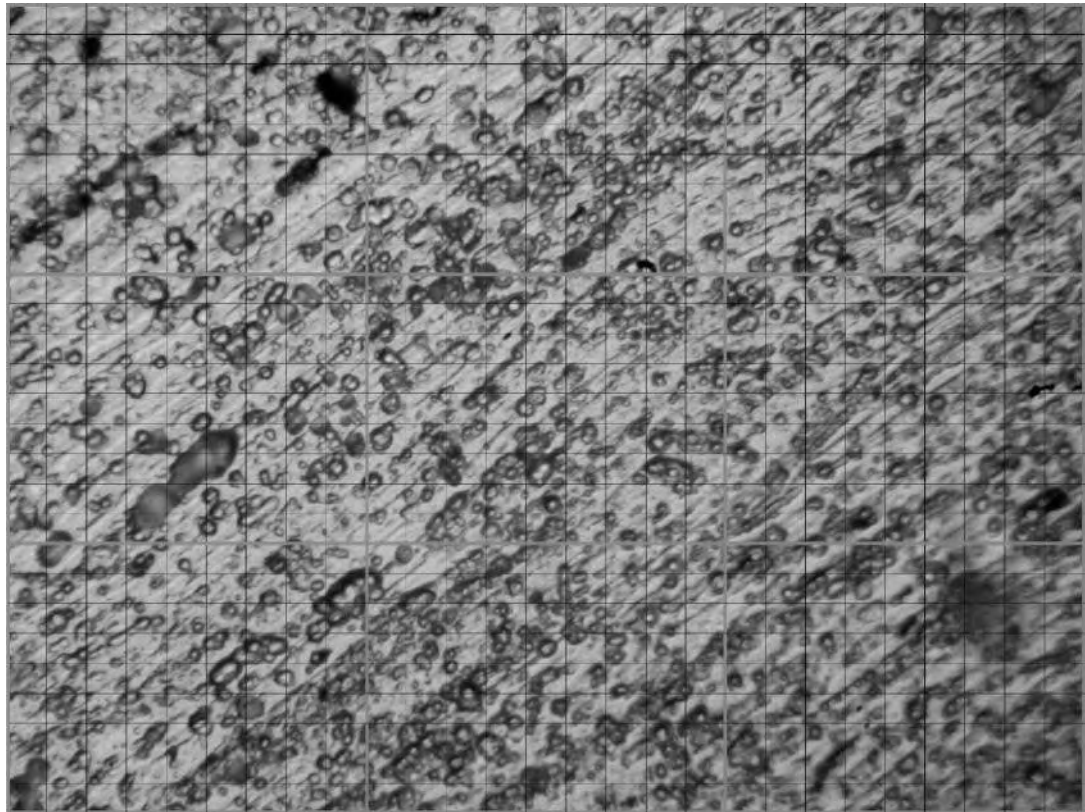
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
E	1	6	4	0.61	0.39
	2	7	3		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	5	5		
	7	7	3		
	8	6	4		
	9	6	4		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
H	1	6	4	0.62	0.38
	2	7	3		
	3	5	5		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	5	5		
	8	6	4		
	9	7	3		
	10	7	3		



Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
I	1	7	3	0.62	0.38
	2	6	4		
	3	5	5		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	5	5		
	7	6	4		
	8	7	3		
	9	6	4		
	10	7	3		

	Terang	Gelap
<i>Average</i>	0.62	0.38
<i>Percentage</i>	62%	38%



Gambar 13. Uji struktur mikro logam las pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit

Tabel 6. Perhitungan presentase struktur mikro logam las pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
A	1	6	4	0.48	0.52
	2	4	6		
	3	7	3		
	4	5	5		
	5	5	5		
	6	5	5		
	7	3	7		
	8	3	7		
	9	4	6		
	10	6	4		
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
B	1	6	4	0.58	0.42
	2	4	6		
	3	7	3		
	4	5	5		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	6	4		
	8	6	4		
	9	5	5		
	10	7	3		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
C	1	7	3	0.58	0.42
	2	4	6		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	4	6		
	6	7	3		
	7	6	4		
	8	7	3		
	9	5	5		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
F	1	6	4	0.51	0.49
	2	4	6		
	3	4	6		
	4	5	5		
	5	6	4		
	6	4	6		
	7	6	4		
	8	6	4		
	9	6	4		
	10	4	6		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
D	1	4	6	0.55	0.45
	2	6	4		
	3	5	5		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	6	4		
	8	4	6		
	9	5	5		
	10	7	3		

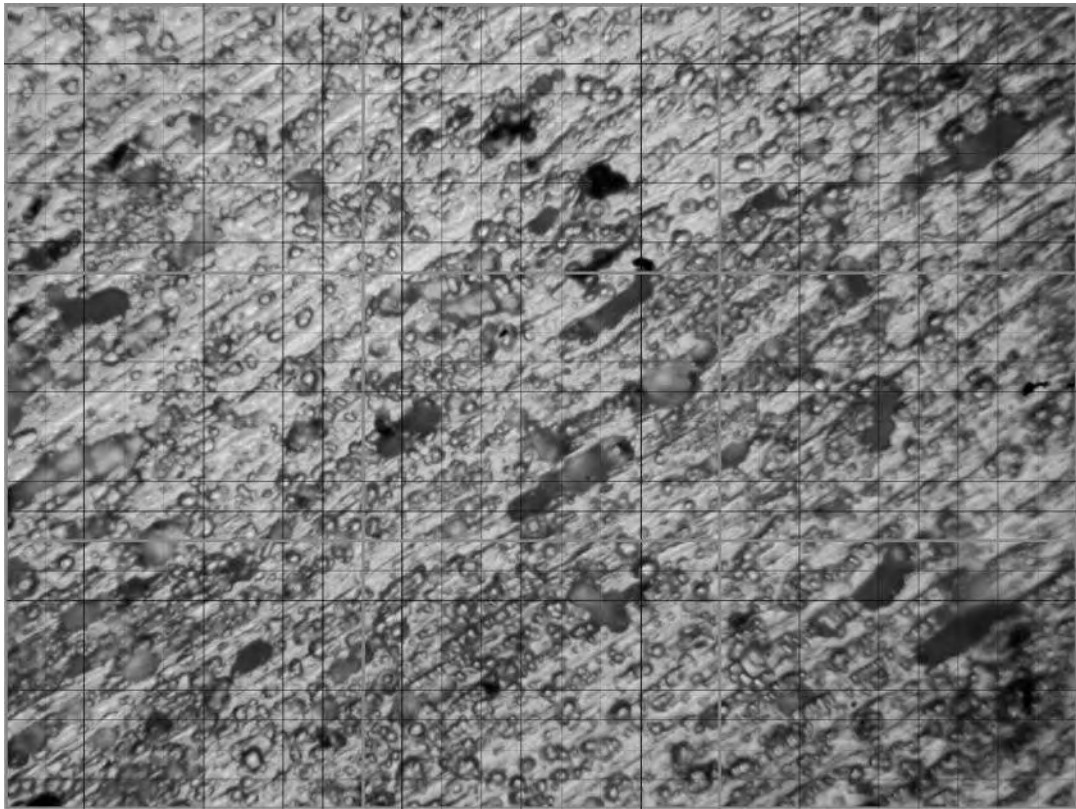
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
G	1	4	6	0.46	0.54
	2	5	5		
	3	3	7		
	4	4	6		
	5	5	5		
	6	4	6		
	7	5	5		
	8	6	4		
	9	5	5		
	10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
E	1	7	3	0.54	0.46
	2	5	5		
	3	6	4		
	4	5	5		
	5	5	5		
	6	5	5		
	7	5	5		
	8	6	4		
	9	4	6		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
H	1	5	5	0.54	0.46
	2	5	5		
	3	6	4		
	4	4	6		
	5	7	3		
	6	4	6		
	7	8	2		
	8	6	4		
	9	4	6		
	10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
I	1	5	5	0.49	0.51
	2	4	6		
	3	4	6		
	4	4	6		
	5	4	6		
	6	5	5		
	7	5	5		
	8	5	5		
	9	6	4		
	10	7	3		

	Terang	Gelap
<i>Average</i>	0.53	0.47
<i>Percentage</i>	53%	47%



Gambar 14. Uji struktur mikro logam induk pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit

Tabel 7. Perhitungan presentase struktur mikro logam induk pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
A	1	7	3	0.67	0.33
	2	6	4		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	7	3		
	7	7	3		
	8	6	4		
	9	7	3		
	10	9	1		
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
B	1	9	1	0.72	0.28
	2	6	4		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	7	3		
	7	8	2		
	8	7	3		
	9	7	3		
	10	9	1		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
C	1	9	1	0.69	0.31
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	8	2		
	9	7	3		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
F	1	8	2	0.68	0.32
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	7	3		
	9	6	4		
	10	8	2		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
D	1	8	2	0.68	0.32
	2	7	3		
	3	7	3		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	6	4		
	8	7	3		
	9	7	3		
	10	8	2		

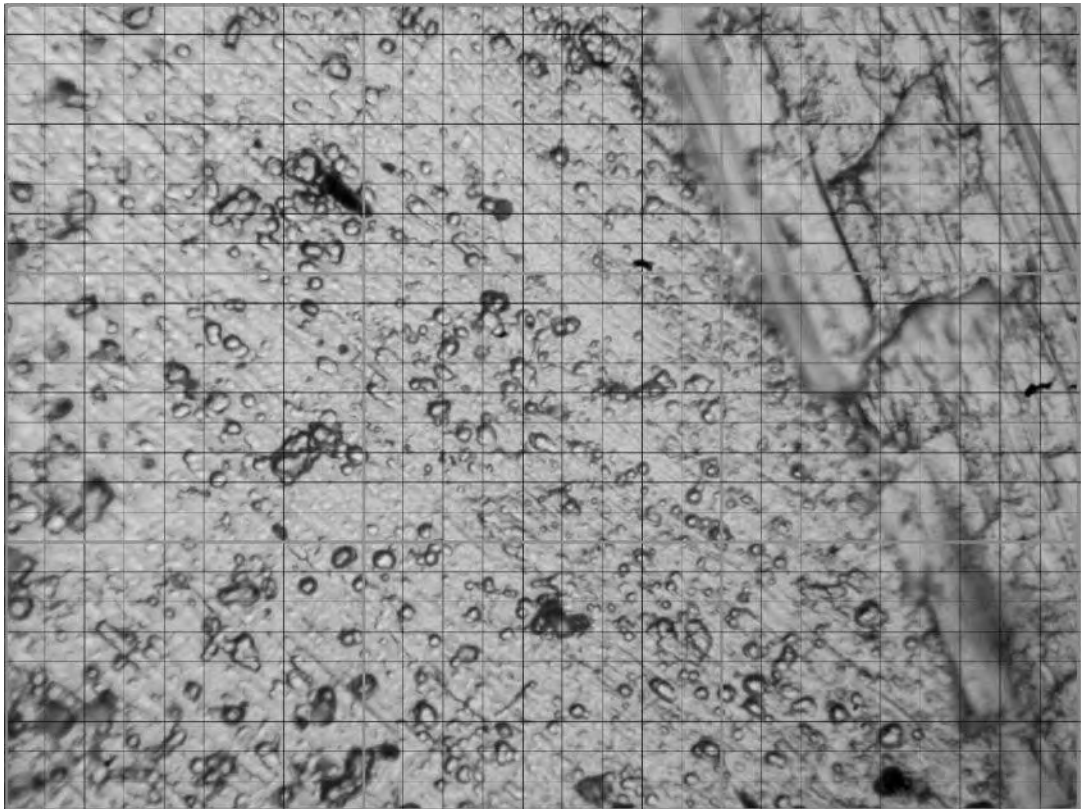
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
G	1	7	3	0.68	0.32
	2	6	4		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	6	4		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	7	3		
	9	8	2		
	10	7	3		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
E	1	8	2	0.73	0.27
	2	7	3		
	3	6	4		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	8	2		
	7	7	3		
	8	8	2		
	9	7	3		
	10	8	2		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
H	1	7	3	0.74	0.26
	2	8	2		
	3	8	2		
	4	8	2		
	5	8	2		
	6	7	3		
	7	7	3		
	8	7	3		
	9	7	3		
	10	7	3		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
I	1	7	3	0.66	0.34
	2	7	3		
	3	7	3		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	6	4		
	7	6	4		
	8	6	4		
	9	7	3		
	10	7	3		

	Terang	Gelap
<i>Average</i>	0.69	0.31
<i>Percentage</i>	69%	31%



Gambar 15. Uji struktur mikro HAZ pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit

Tabel 8. Perhitungan presentase struktur mikro HAZ pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
A	1	7	3	0.6	0.4
	2	5	5		
	3	5	5		
	4	6	4		
	5	6	4		
	6	5	5		
	7	8	2		
	8	5	5		
	9	6	4		
	10	7	3		
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
B	1	7	3	0.66	0.34
	2	6	4		
	3	6	4		
	4	5	5		
	5	8	2		
	6	6	4		
	7	8	2		
	8	6	4		
	9	8	2		
	10	6	4		



Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
C	1	6	4	0.57	0.43
	2	5	5		
	3	4	6		
	4	5	5		
	5	4	6		
	6	8	2		
	7	4	6		
	8	5	5		
	9	8	2		
	10	8	2		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
F	1	7	3	0.56	0.44
	2	4	6		
	3	4	6		
	4	4	6		
	5	6	4		
	6	8	2		
	7	5	5		
	8	8	2		
	9	5	5		
	10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
D	1	6	4	0.72	0.28
	2	6	4		
	3	8	2		
	4	6	4		
	5	7	3		
	6	9	1		
	7	8	2		
	8	8	2		
	9	8	2		
	10	6	4		

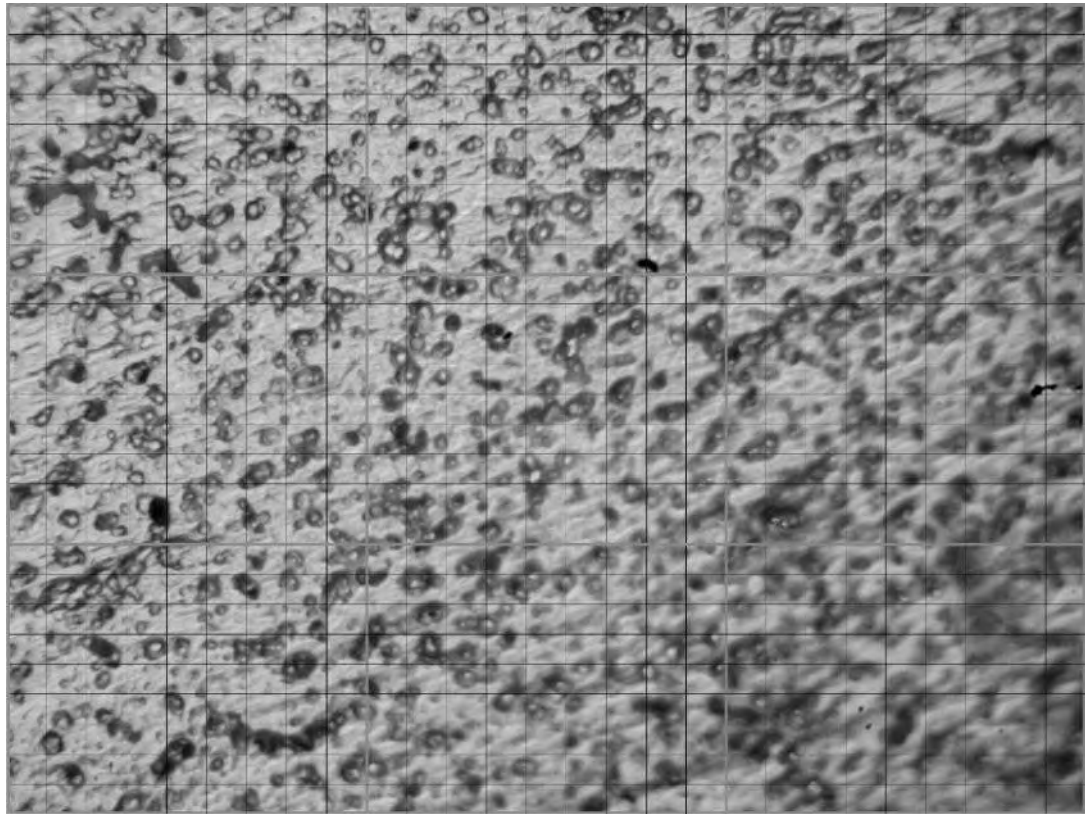
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
G	1	3	7	0.45	0.55
	2	4	6		
	3	4	6		
	4	3	7		
	5	5	5		
	6	5	5		
	7	4	6		
	8	8	2		
	9	5	5		
	10	4	6		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
E	1	6	4	0.58	0.42
	2	4	6		
	3	5	5		
	4	8	2		
	5	5	5		
	6	4	6		
	7	5	5		
	8	8	2		
	9	6	4		
	10	7	3		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
H	1	4	6	0.55	0.45
	2	5	5		
	3	4	6		
	4	8	2		
	5	5	5		
	6	5	5		
	7	5	5		
	8	7	3		
	9	6	4		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
I	1	5	5	0.55	0.45
	2	5	5		
	3	4	6		
	4	5	5		
	5	8	2		
	6	5	5		
	7	4	6		
	8	5	5		
	9	8	2		
	10	6	4		

	Terang	Gelap
<i>Average</i>	0.58	0.42
<i>Percentage</i>	58%	42%



Gambar 16. Uji struktur mikro logam las pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit

Tabel 9. Perhitungan presentase struktur mikro logam las pelat aluminium pengelasan GMAW kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
A	1	7	3	0.53	0.47
	2	5	5		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	5	5		
	6	6	4		
	7	5	5		
	8	4	6		
	9	5	5		
	10	4	6		
Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
B	1	4	6	0.51	0.49
	2	5	5		
	3	3	7		
	4	6	4		
	5	4	6		
	6	6	4		
	7	7	3		
	8	7	3		
	9	4	6		
	10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
C	1	5	5	0.6	0.4
	2	5	5		
	3	7	3		
	4	7	3		
	5	7	3		
	6	5	5		
	7	7	3		
	8	4	6		
	9	7	3		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
F	1	6	4	0.53	0.47
	2	6	4		
	3	5	5		
	4	6	4		
	5	5	5		
	6	5	5		
	7	6	4		
	8	5	5		
	9	5	5		
	10	4	6		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
D	1	4	6	0.47	0.53
	2	6	4		
	3	3	7		
	4	5	5		
	5	6	4		
	6	4	6		
	7	6	4		
	8	4	6		
	9	4	6		
	10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
G	1	6	4	0.38	0.62
	2	3	7		
	3	3	7		
	4	4	6		
	5	3	7		
	6	3	7		
	7	5	5		
	8	4	6		
	9	4	6		
	10	3	7		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
E	1	5	5	0.5	0.5
	2	4	6		
	3	5	5		
	4	5	5		
	5	4	6		
	6	6	4		
	7	5	5		
	8	4	6		
	9	6	4		
	10	6	4		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
H	1	3	7	0.43	0.57
	2	5	5		
	3	4	6		
	4	5	5		
	5	3	7		
	6	5	5		
	7	4	6		
	8	5	5		
	9	4	6		
	10	5	5		

Part	Line	Terang	Gelap	Total T/100	Total G/100
I	1	5	5	0.52	0.48
	2	5	5		
	3	6	4		
	4	6	4		
	5	5	5		
	6	5	5		
	7	5	5		
	8	6	4		
	9	3	7		
	10	6	4		

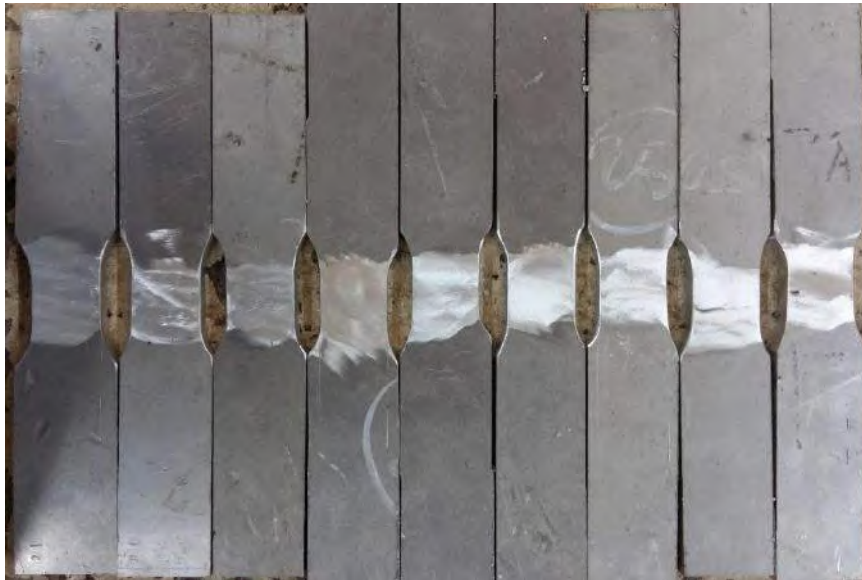
	Terang	Gelap
<i>Average</i>	0.50	0.50
<i>Percentage</i>	50%	50%

## Lampiran Pengujian Kekerasan Vickers

Tabel 10. Hasil Uji Kekerasan Vickers

Material Pengelasan	Jenis Pengelasan	Kecepatan Aliran Gas Pelindung (liter/menit)	Spesimen	Kekerasan		
				Base Metal	HAZ	Weld Metal
Aluminium Seri 5050	GMAW	15	A <sub>1</sub> (Atas)	50.8	50.5	60.7
				48.2	41.2	58.5
				50.3	41.5	60.1
			A <sub>1</sub> (Tengah)	51.2	54.1	62
				52.3	50.7	57.3
				52.9	60	54.2
			A <sub>1</sub> (Bawah)	52.9	63	61.9
				51.1	55	62.7
				52.1	60.2	60.7
Aluminium Seri 5050	GMAW	20	A <sub>2</sub> (Atas)	49.4	52.6	59.8
				49.5	52.1	59.6
				49.6	47.6	59.1
			A <sub>2</sub> (Tengah)	53.3	54.3	62.7
				55	56.4	58
				57.5	57.4	54.9
			A <sub>2</sub> (Bawah)	54.4	59.5	61.8
				52.2	58.8	63
				54.6	60.4	63.6
Aluminium Seri 5050	GMAW	25	A <sub>3</sub> (Atas)	53	52.5	65.6
				57.1	51.5	63.5
				52.3	51.5	62.7
			A <sub>3</sub> (Tengah)	52.5	55.8	62.3
				51.5	58.4	65.3
				51.5	60	67.1
			A <sub>3</sub> (Bawah)	53.5	63.3	65.3
				53.6	62.1	66.1
				54.3	59.7	69.6

## Lampiran Perhitungan Uji Tarik



Gambar 17. Spesimen Uji Tarik Sebelum Penarikan



Gambar 18. Spesimen Uji Tarik Setelah Penarikan



**REPORT ON TEST RESULT NO. :**

/IT2.4.I.1/PM.05.02/20

MATERIAL SPECS.

15 e/ menit (flow rate)

: 1 (Tugas Akhir)

The Laboratory Of Ships Strength And Construction  
FT. Kelautan ITS



DIDIK

Gambar 19. Hasil Pengujian Tarik Pengelasan GMAW Aluminium kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit





**LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL**  
**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp./Fax. 031 599 4933

/IT2.4.I.1/PM.05.02/20

### MATERIAL SPECS.

22  $^{\circ}$ /menit (flow rate)

: 2 (Tugas Akhir)

[illegible]

Gambar 20. Hasil Pengujian Tarik Pengelasan GMAW Aluminium kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit



REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.1.1/PM.05.02/20

[illegible]

Gambar 21. Hasil Pengujian Tarik Pengelasan GMAW Aluminium kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit

Tabel 10. Tabel Hasil Uji Tarik ( $F_{yield}$  dan  $F_{ultimate}$ )

Material Pengelasan	Kecepatan Aliran Gas Pelindung (liter/menit)	Spesimen	Spesifikasi Spesimen			F Yield		F Ultimate	
			Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	KN	N	KN	N
Aluminium Seri 5050/GMAW	15	B <sub>1</sub>	37.88	11.4	431.83	31	31000	36	36000
		B <sub>2</sub>	38.01	11.78	447.76	52	52000	58	58000
		B <sub>3</sub>	38.12	11.85	451.72	30	30000	33	33000
Aluminium Seri 5050/GMAW	20	B <sub>4</sub>	38.21	11.63	444.38	37	37000	42	42000
		B <sub>5</sub>	37.92	11.72	444.42	53.5	53500	63	63000
		B <sub>6</sub>	37.69	11.82	445.50	38	38000	42	42000
Aluminium Seri 5050/GMAW	25	B <sub>7</sub>	37.93	11.91	451.75	52	52000	59	59000
		B <sub>8</sub>	38.16	12.17	464.41	54	54000	65	65000
		B <sub>9</sub>	37.2	11.87	441.56	41.5	41500	50.5	50500

- Perhitungan *Ultimate Strength*

$$\text{Ultimate Strength (MPa)} = \frac{F_{\text{Ultimate}} (N)}{A \text{ (mm}^2\text{)}}$$

$$\text{Ultimate Strength (B}_1\text{)} = \frac{36000 (N)}{431.83 \text{ (mm}^2\text{)}} = 83.37 \text{ MPa}$$

$$\text{Ultimate Strength (B}_2\text{)} = \frac{58000 (N)}{447.76 \text{ (mm}^2\text{)}} = 129.53 \text{ MPa}$$

$$\text{Ultimate Strength (B}_3\text{)} = \frac{33000 (N)}{451.72 \text{ (mm}^2\text{)}} = 73.05 \text{ MPa}$$

$$\text{Ultimate Strength (B}_4\text{)} = \frac{42000 (N)}{444.38 \text{ (mm}^2\text{)}} = 94.51 \text{ MPa}$$

$$\text{Ultimate Strength (B}_5\text{)} = \frac{63000 (N)}{444.42 \text{ (mm}^2\text{)}} = 141.76 \text{ MPa}$$

$$\text{Ultimate Strength (B}_6\text{)} = \frac{42000 (N)}{445.5 \text{ (mm}^2\text{)}} = 94.28 \text{ MPa}$$

$$\text{Ultimate Strength (B}_7\text{)} = \frac{59000 (N)}{451.75 \text{ (mm}^2\text{)}} = 130.6 \text{ MPa}$$

$$\text{Ultimate Strength (B}_8\text{)} = \frac{65000 (N)}{464.41 \text{ (mm}^2\text{)}} = 139.96 \text{ MPa}$$

$$\textbf{Ultimate Strength (B}_9\text{)} = \frac{50500 \text{ (N)}}{441.56 \text{ (mm}^2\text{)}} = \textbf{114.37 MPa}$$

- Perhitungan *Yield Strength*

$$\textbf{Yield Strength (MPa)} = \frac{\textbf{F Yield (N)}}{\textbf{A (mm}^2\text{)}}$$

$$\textbf{Yield Strength (B}_1\text{)} = \frac{31000 \text{ (N)}}{431.83 \text{ (mm}^2\text{)}} = \textbf{71.79 MPa}$$

$$\textbf{Yield Strength (B}_1\text{)} = \frac{52000 \text{ (N)}}{431.83 \text{ (mm}^2\text{)}} = \textbf{116.13 MPa}$$

$$\textbf{Yield Strength (B}_1\text{)} = \frac{30000 \text{ (N)}}{431.83 \text{ (mm}^2\text{)}} = \textbf{66.41 MPa}$$

$$\textbf{Yield Strength (B}_1\text{)} = \frac{37000 \text{ (N)}}{431.83 \text{ (mm}^2\text{)}} = \textbf{83.26 MPa}$$

$$\textbf{Yield Strength (B}_1\text{)} = \frac{53500 \text{ (N)}}{431.83 \text{ (mm}^2\text{)}} = \textbf{120.38 MPa}$$

$$\textbf{Yield Strength (B}_1\text{)} = \frac{38000 \text{ (N)}}{431.83 \text{ (mm}^2\text{)}} = \textbf{85.3 MPa}$$

$$\textbf{Yield Strength (B}_1\text{)} = \frac{52000 \text{ (N)}}{431.83 \text{ (mm}^2\text{)}} = \textbf{115.11 MPa}$$

$$\textbf{Yield Strength (B}_1\text{)} = \frac{54000 \text{ (N)}}{431.83 \text{ (mm}^2\text{)}} = \textbf{116.28 MPa}$$

$$\textbf{Yield Strength (B}_1\text{)} = \frac{41500 \text{ (N)}}{431.83 \text{ (mm}^2\text{)}} = \textbf{93.98 MPa}$$

Tabel 11. Tabel Hasil Uji Tarik (*Yield Strength* dan *Ultimate Strength*)

Spesimen	Tensile Test Results		
	Yield Strength (MPa)	Ultimate Strength (MPa)	Breaking
B <sub>1</sub>	71.79	83.37	Weld Metal
B <sub>2</sub>	116.13	129.53	Weld Metal
B <sub>3</sub>	66.41	73.05	Weld Metal
B <sub>4</sub>	83.26	94.51	Weld Metal
B <sub>5</sub>	120.38	141.76	Weld Metal
B <sub>6</sub>	85.30	94.28	Weld Metal
B <sub>7</sub>	115.11	130.60	Weld Metal
B <sub>8</sub>	116.28	139.96	Weld Metal
B <sub>9</sub>	93.98	114.37	Weld Metal

#### Lampiran Perhitungan Uji Korosi (Hukum Faraday)

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K \times a \times i}{n \times D}$$

Laju korosi dengan satuan mmpy. Di mana:

a = Berat atom logam yang terkorosi (gram/mol) = 26.98 untuk Al

i = i corr (μA/cm<sup>2</sup>)

k = konstanta (0.00327 untuk mmpy)

n = jumlah elektron yang dilepas pada logam terkorosi = 3

D = masa jenis logam terkorosi (gram/cm<sup>3</sup>) = 2.69 untuk Al

$$\text{Laju Korosi } C_1 = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 4.04821}{3 \times 2.69} = 0.04426 \text{ mmpy}$$

$$\text{Laju Korosi } C_2 = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 4.52115}{3 \times 2.69} = 0.04943 \text{ mmpy}$$

$$\text{Laju Korosi } C_3 = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 4.20283}{3 \times 2.69} = 0.04595 \text{ mmpy}$$

$$\text{Laju Korosi } C_4 = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 15.54012}{3 \times 2.69} = 0.16989 \text{ mmpy}$$

$$\text{Laju Korosi } C_5 = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 15.25251}{3 \times 2.69} = 0.16675 \text{ mmpy}$$

$$\text{Laju Korosi } C_6 = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 12.49511}{3 \times 2.69} = 0.13661 \text{ mmpy}$$

$$\text{Laju Korosi } C_7 = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 9.68882}{3 \times 2.69} = 0.10592 \text{ mmpy}$$

$$\text{Laju Korosi } C_8 = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 10.82211}{3 \times 2.69} = 0.11831 \text{ mmpy}$$

$$\text{Laju Korosi } C_9 = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 11.99251}{3 \times 2.69} = 0.13111 \text{ mmpy}$$

$$\text{Laju Korosi } C_{10} = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 7.55566}{3 \times 2.69} = 0.0826 \text{ mmpy}$$

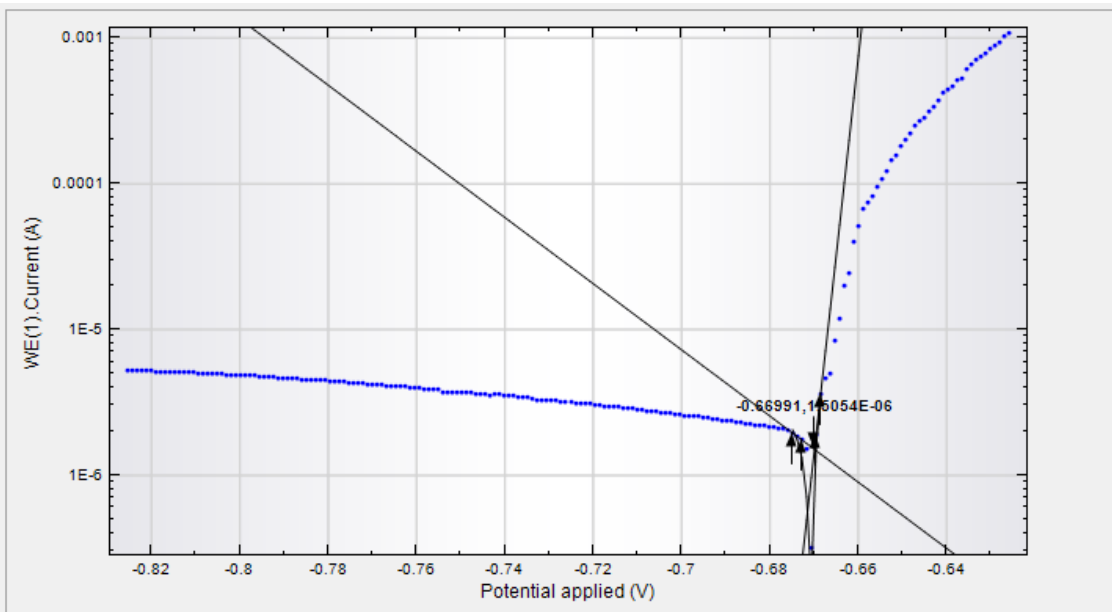
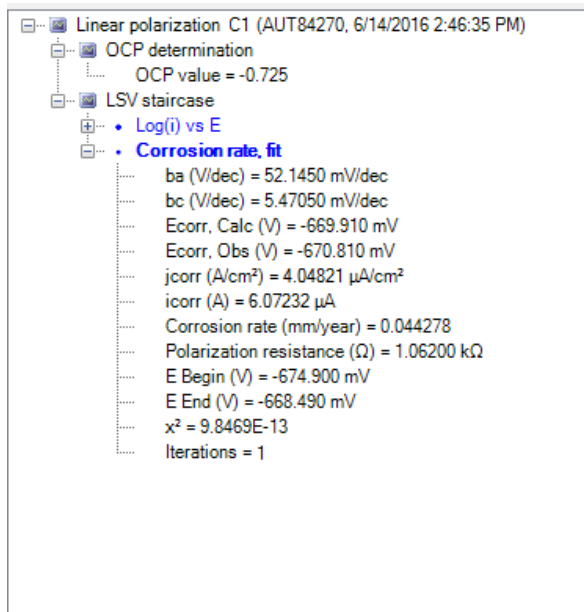
$$\text{Laju Korosi } C_{11} = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 8.53558}{3 \times 2.69} = 0.09331 \text{ mmpy}$$

$$\text{Laju Korosi } C_{12} = \frac{0.00327 \times 26.98 \times 6.54129}{3 \times 2.69} = 0.07151 \text{ mmpy}$$

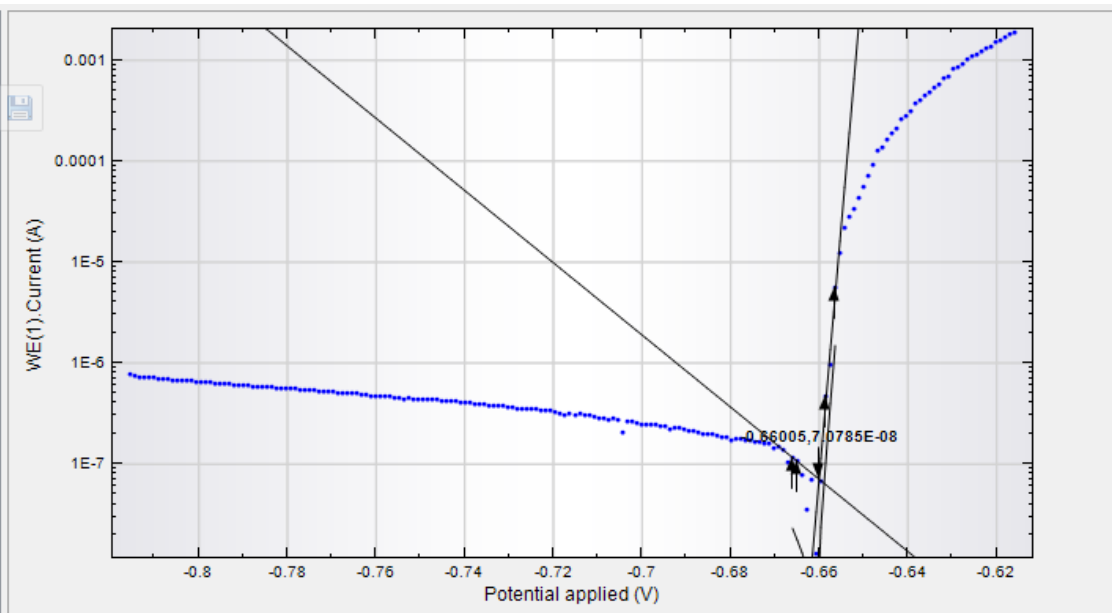
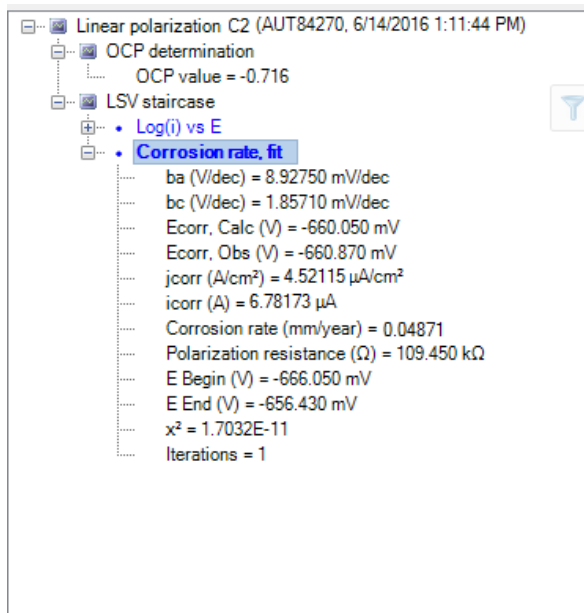
Tabel 12. Tabel Hasil Uji Korosi Hukum Faraday

Material Pengelasan	Spesimen	i corr (μA/cm <sup>2</sup> ) NOVA	Laju Korosi (mmpy) Hukum Faraday	Rata-rata (mmpy)
Aluminium Seri 5050 (Material Induk)	C <sub>1</sub>	4.04821	0.04426	0.0465
	C <sub>2</sub>	4.52115	0.04943	
	C <sub>3</sub>	4.20283	0.04595	
Aluminium Seri 5050 (GMAW-15 liter/menit)	C <sub>4</sub>	15.54012	0.16989	0.1577
	C <sub>5</sub>	15.25251	0.16675	
	C <sub>6</sub>	12.49511	0.13661	
Aluminium Seri 5050 (GMAW-20 liter/menit)	C <sub>7</sub>	9.68882	0.10592	0.1185
	C <sub>8</sub>	10.82211	0.11831	
	C <sub>9</sub>	11.99251	0.13111	
Aluminium Seri 5050 (GMAW-25 liter/menit)	C <sub>10</sub>	7.55566	0.0826	0.0825
	C <sub>11</sub>	8.53558	0.09331	
	C <sub>12</sub>	6.54129	0.07151	

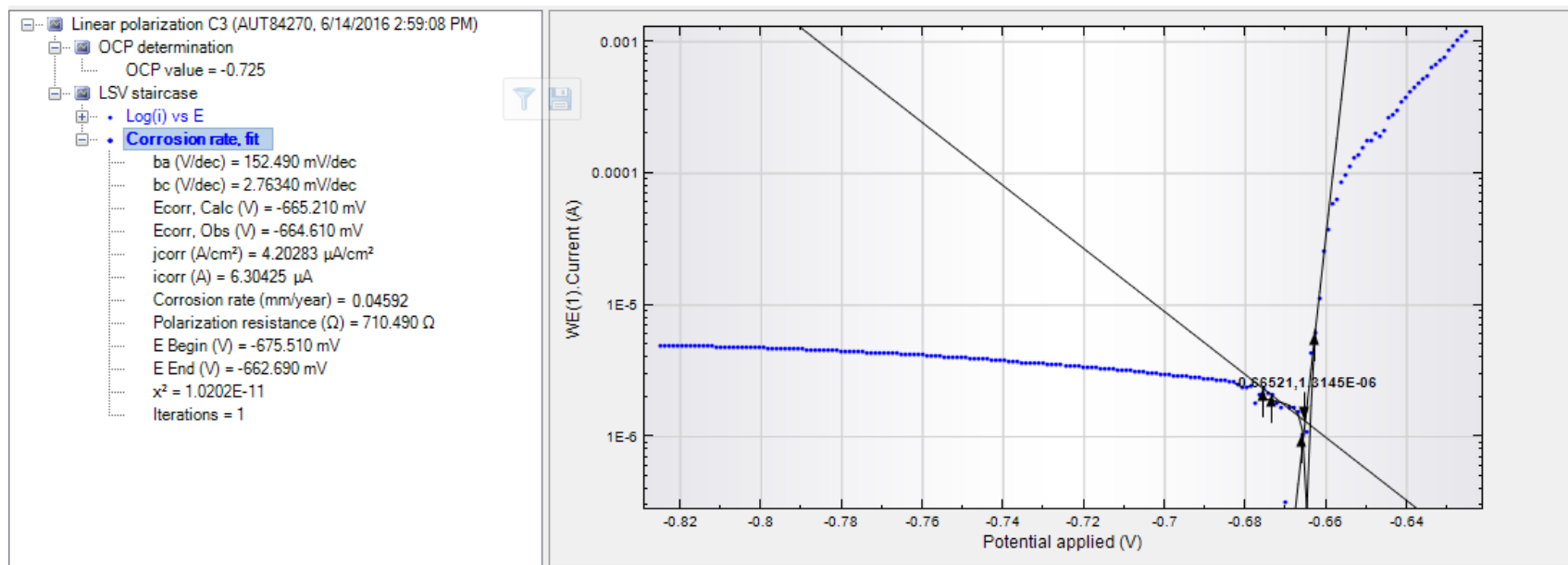




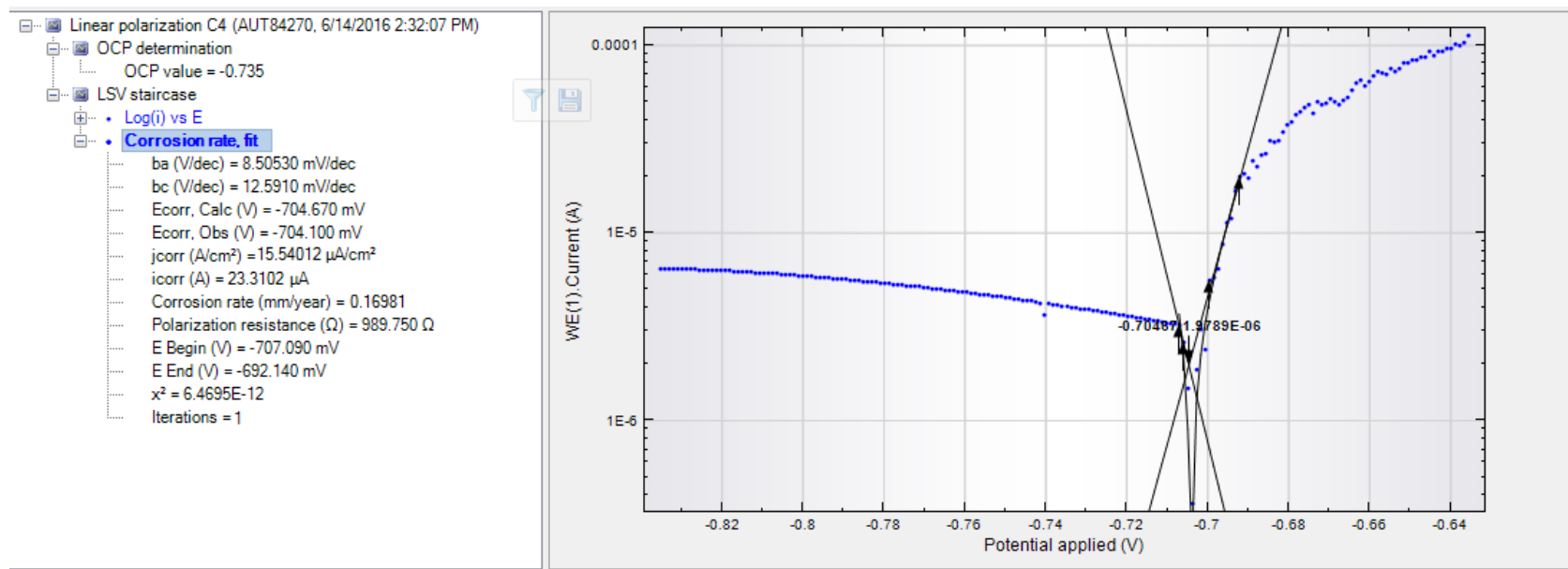
Gambar 22. Diagram Tafel Spesimen C1 (Aluminium Seri 5050 tanpa pengelasan)



Gambar 23. Diagram Tafel Spesimen C2 (Aluminium Seri 5050 tanpa pengelasan)

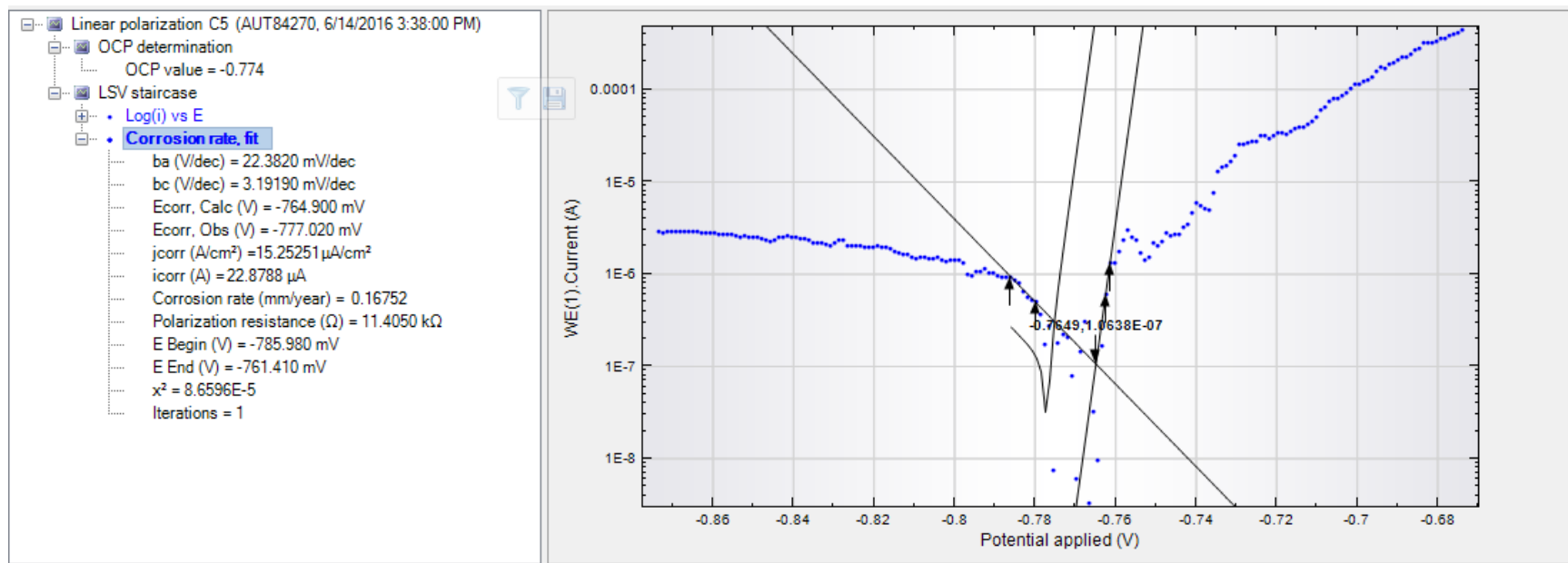


Gambar 24. Diagram Tafel Spesimen C3 (Aluminium Seri 5050 tanpa pengelasan)

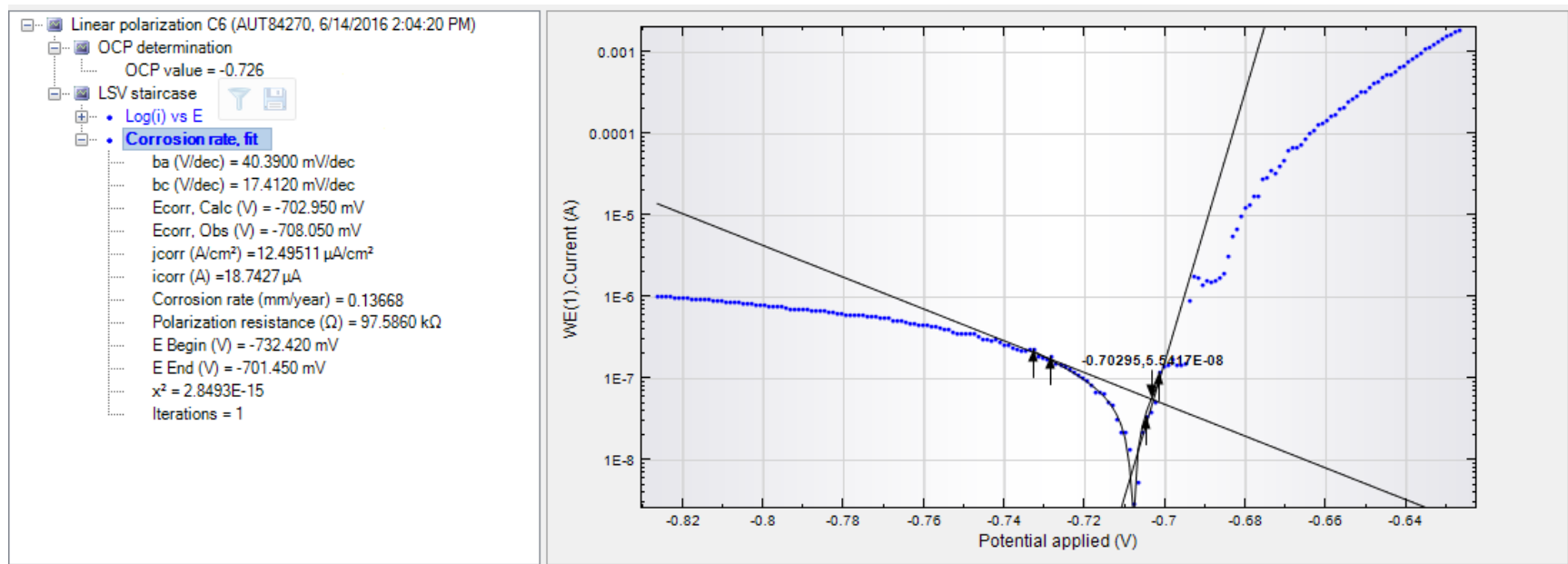


Gambar 25. Diagram Tafel Spesimen C4 (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 15 liter/menit)

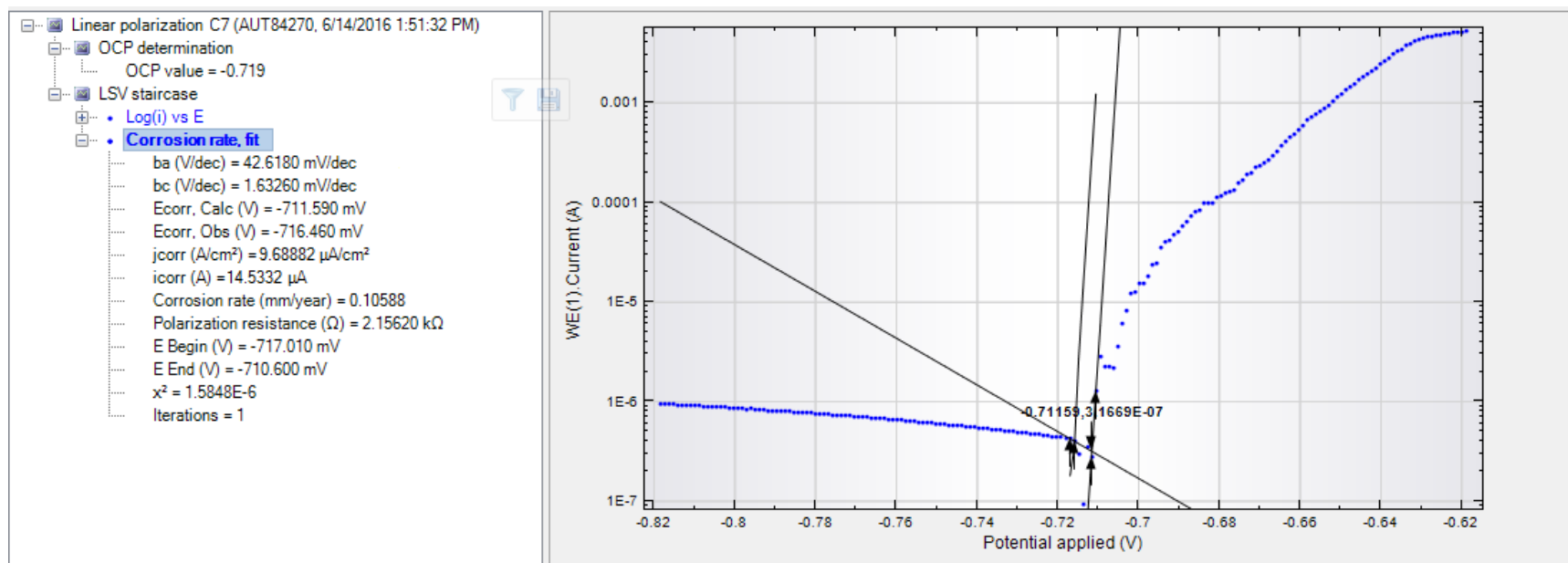




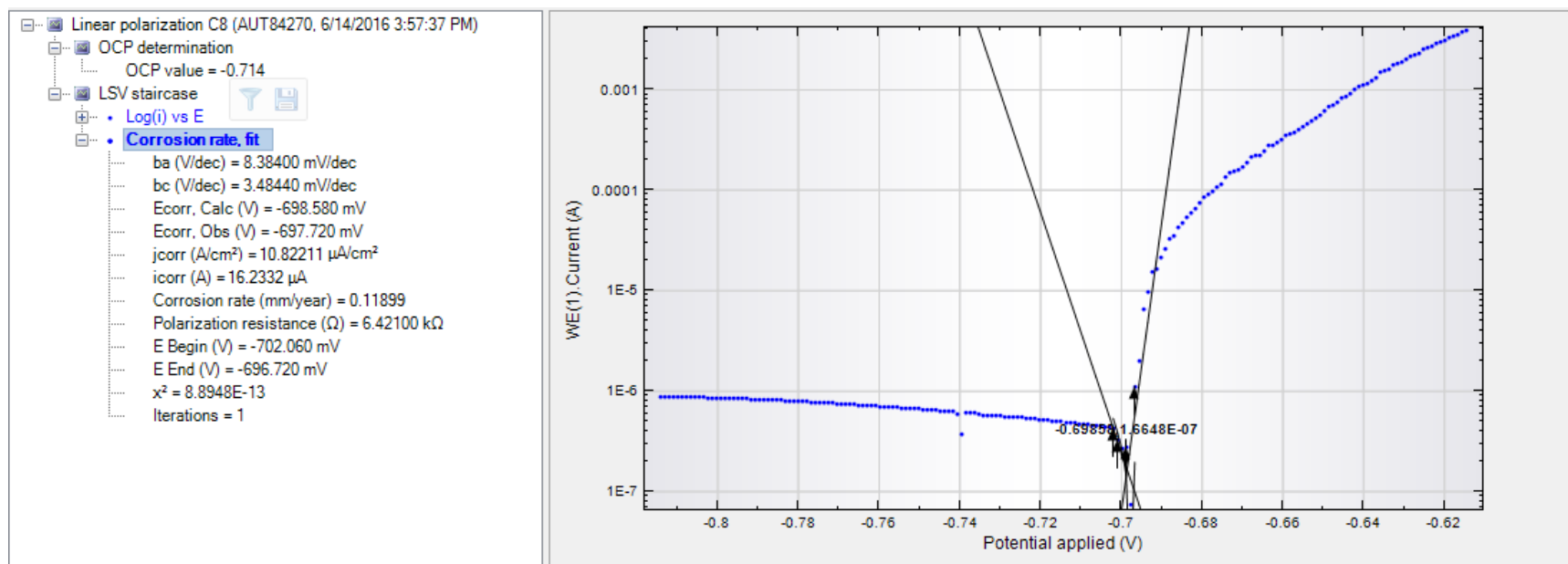
Gambar 26. Diagram Tafel Spesimen C5 (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 15 liter/menit)



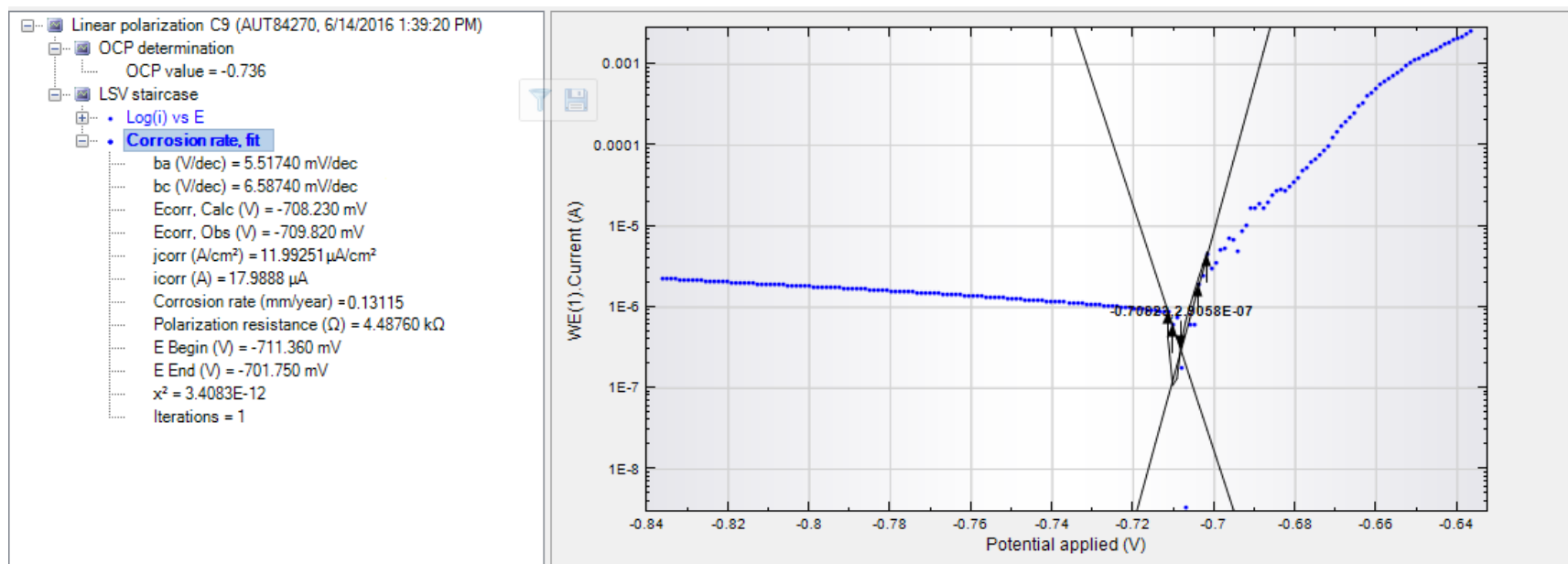
Gambar 27. Diagram Tafel Spesimen C6 (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 15 liter/menit)



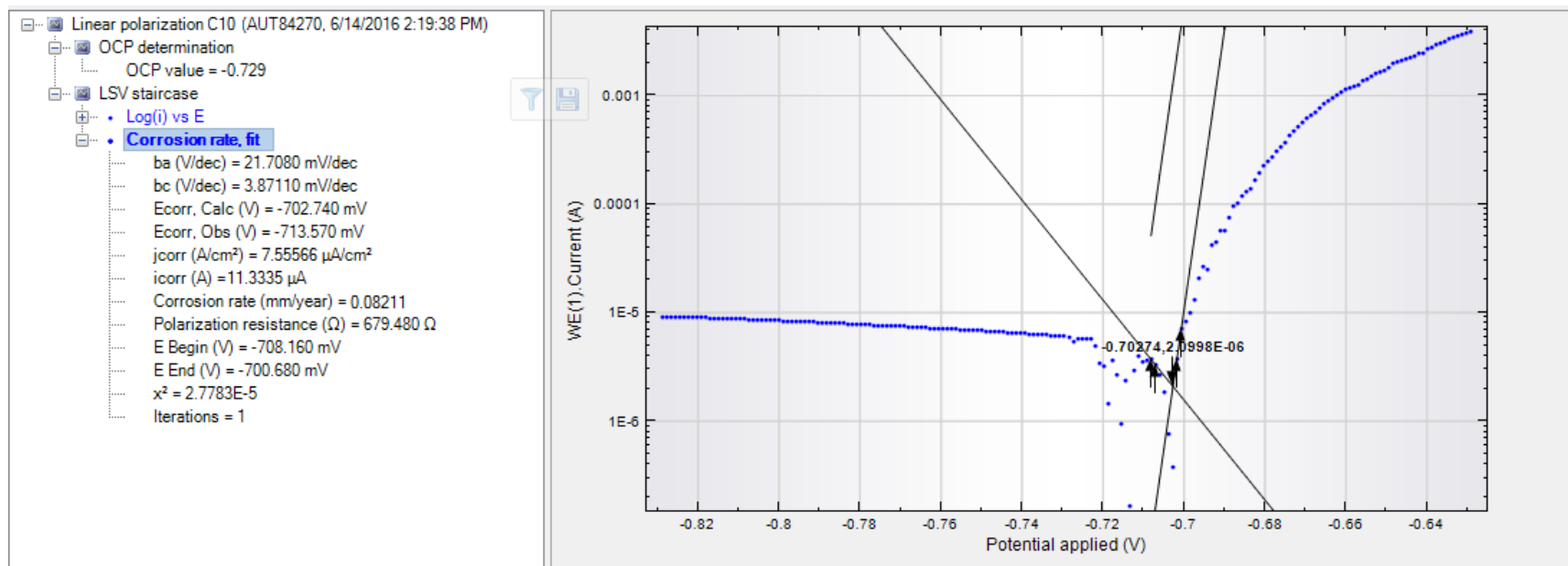
Gambar 28. Diagram Tafel Spesimen C7 (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 20 liter/menit)



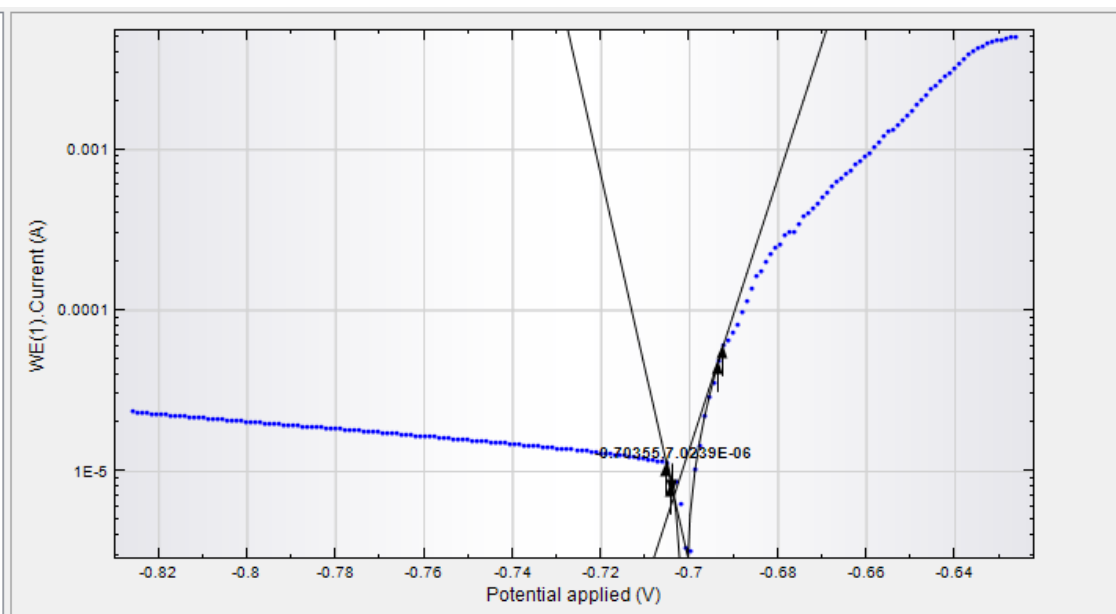
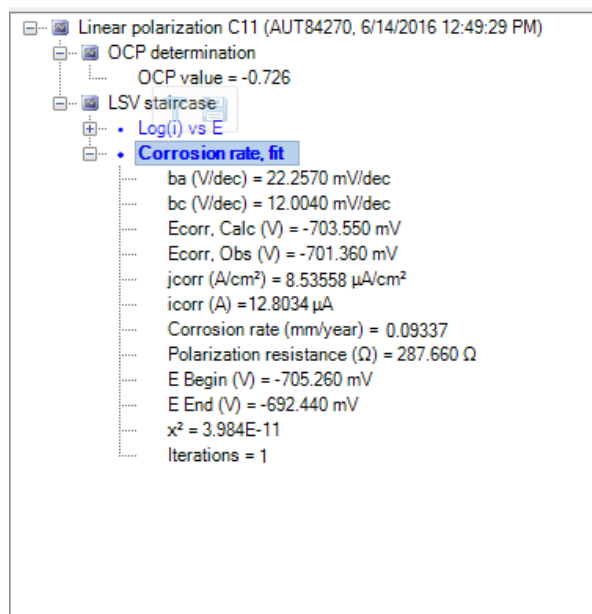
Gambar 29. Diagram Tafel Spesimen C8 (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 20 liter/menit)



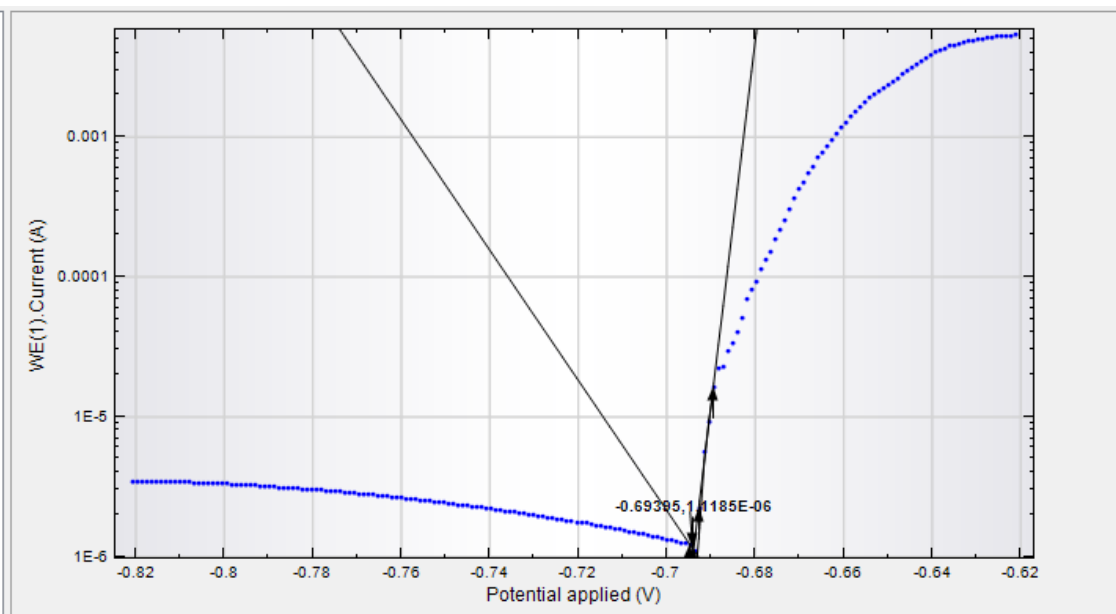
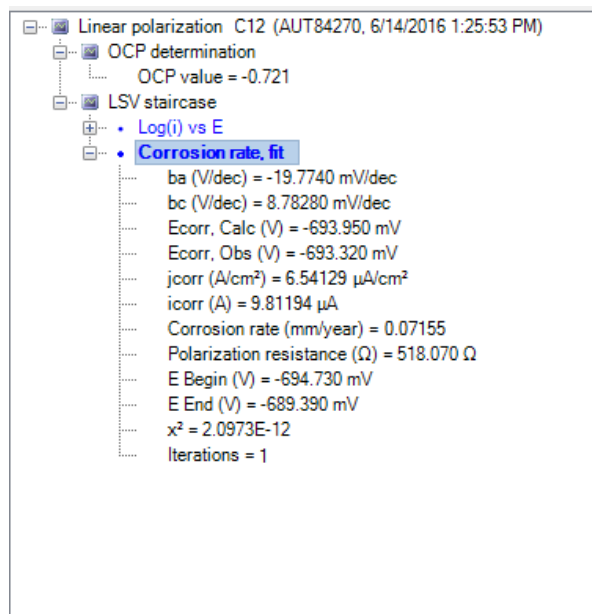
Gambar 30. Diagram Tafel Spesimen C9 (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 20 liter/menit)



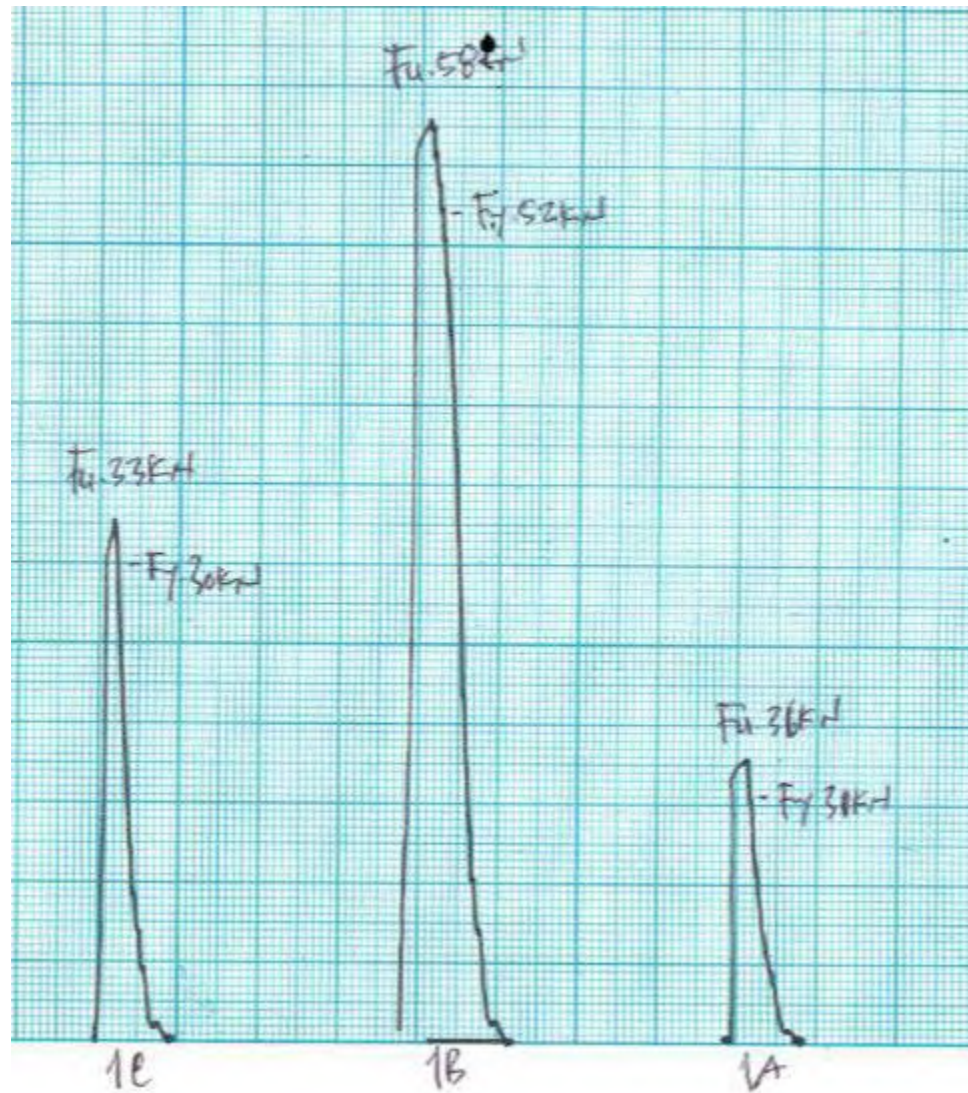
Gambar 31. Diagram Tafel Spesimen C10 (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 25 liter/menit)



Gambar 32. Diagram Tafel Spesimen C11 (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 25 liter/menit)

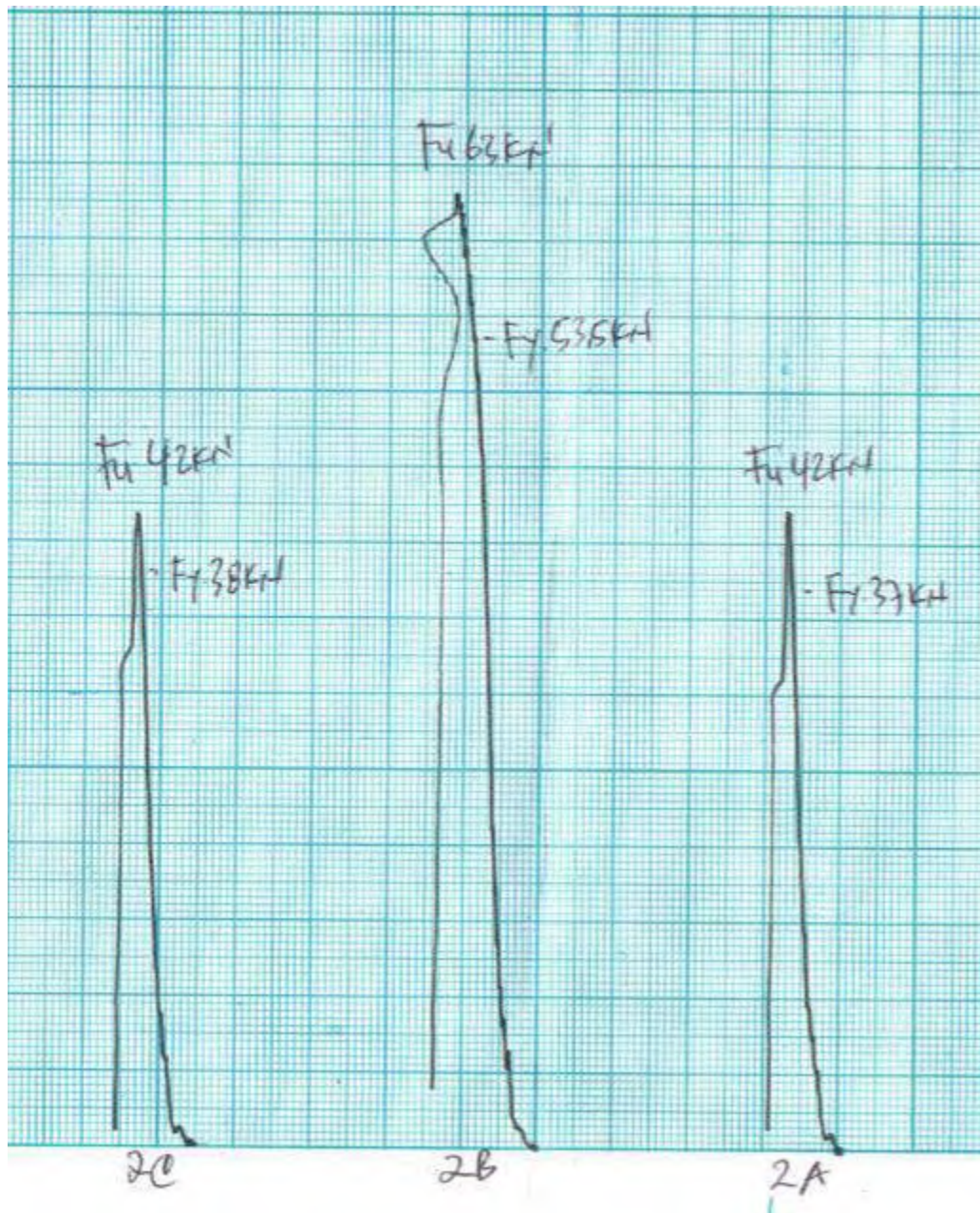


Gambar 33. Diagram Tafel Spesimen C12 (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 25 liter/menit)

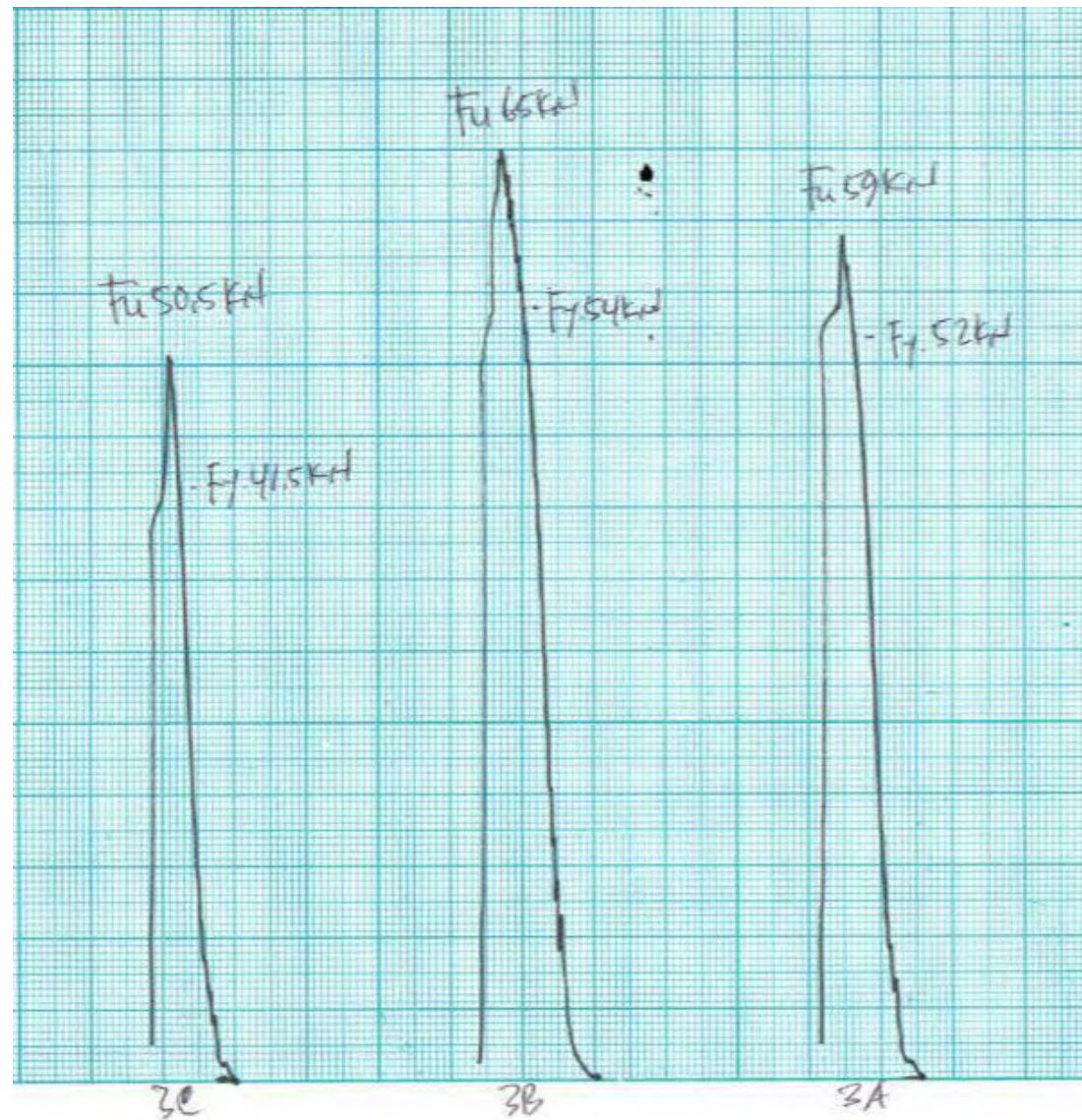


Gambar 34. Gambar grafik tegangan regangan 3 spesimen uji Tarik (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 15 liter/menit)





Gambar 35. Gambar grafik tegangan regangan 3 spesimen uji Tarik (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 20 liter/menit)



Gambar 36. Gambar grafik tegangan regangan 3 spesimen uji Tarik (Aluminium Seri 5050 pengelasan GMAW 25 liter/menit)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Dari penelitian yang dilakukan yaitu hasil perbandingan dari proses pengelasan menggunakan metode GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) dengan variasi kecepatan aliran gas pelindung terhadap ketahanan korosi pada sambungan aluminium seri 5050 dapat ditarik beberapa kesimpulan berdasarkan dari hasil pengujian yang telah dilakukan antara lain sebagai berikut :

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Nilai kekerasan dan kekuatan material yang semakin tinggi, maka akan mempengaruhi terhadap laju korosi yang semakin mengecil.
  - Aluminium seri 5050 dengan aliran gas pelindung 15 liter/menit dengan nilai kekerasan rata-rata tertinggi 60.43 HVN dan kekuatan maksimum 95.32 MPa memiliki rata-rata laju korosi sebesar 0.158 mmpy.
  - Aluminium seri 5050 dengan aliran gas pelindung 20 liter/menit dengan nilai kekerasan rata-rata tertinggi 62.8 HVN dan kekuatan maksimum 110.18 MPa memiliki rata-rata laju korosi sebesar 0.1187 mmpy.
  - Aluminium seri 5050 dengan aliran gas pelindung 25 liter/menit dengan nilai kekerasan rata-rata tertinggi 67.33 HVN dan kekuatan maksimum 128.31 MPa memiliki rata-rata laju korosi sebesar 0.0823 mmpy.
2. Pengelasan GMAW (*gas metal arc welding*) aluminium seri 5050 dengan kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit memiliki rata-rata nilai laju korosi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit dan 20 liter/menit.
  - Rata-rata laju korosi spesimen aluminium seri 5050 dengan kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit yaitu 0.0823 mmpy



- Rata-rata laju korosi spesimen aluminium seri 5050 dengan kecepatan aliran gas pelindung 20 liter/menit yaitu 0.1187 mmpy
  - Rata-rata laju korosi spesimen aluminium seri 5050 dengan kecepatan aliran gas pelindung 15 liter/menit yaitu 0.158 mmpy.
3. Kondisi optimal pengaruh variasi aliran gas pelindung pada pengelasan GMAW (*gas metal arc welding*) terhadap laju korosi sambungan *butt joint double v groove* pada pelat aluminium seri 5050 adalah kecepatan aliran gas pelindung 25 liter/menit sebesar 0.0823 mmpy dikarenakan semakin besar perlindungan gas yang diberikan kepada proses pengelasan maka akan semakin besar pula perlindungan yang diberikan dari pengaruh lingkungan luar yang bisa mempengaruhi hasil pengelasan.

## 5.2 Saran

Beberapa hal yang dapat dijadikan saran yang sifatnya membangun penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya variasi aliran gas pelindung bisa ditingkatkan lagi untuk melihat apakah semakin tinggi aliran gas pelindung akan semakin baik hasilnya atau mungkin akan mengalami penurunan pada titik tertentu.
2. Pada penelitian selanjutnya variasi bentuk kampuh bisa dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh yang terjadi terhadap kekuatan dan laju korosi dengan variasi bentuk kampuh karena pada penelitian kali ini hanya menggunakan bentuk kampul *double v*.
3. Proses *pre heat* dan *post heat* pada pengelesan aluminium salah satu yang terpenting namun pada penelitian kali ini tidak dilakukan sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang variasi *pre heat* dan *post heat* yang optimal terhadap hasil pengelasan selain variasi kecepatan aliran gas pelindung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amantyo, H., dan Daryanto. 2006. **Ilmu Bahan**. Jakarta: Bumi Aksara.
- ASME section IX. 2001. **Qualification Standard For Welding And Brazing Procedures, Welders, Brazers, And Welding And Brazing Operators**. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- ASTM E3-01. 2002. **Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens**. Washington: ASTM Publishing.
- ASTM E92. 2004. **Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials**. Washington: ASTM Publishing.
- ASTM D1141-98, 2003. **Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water**. Washington: ASTM Publishing.
- ASTM G1-90, 2002. **Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens**. Washington: ASTM Publishing.
- ASTM G48, 2002. **Corrosion Testing of Welds**. Washington: ASTM Publishing.
- ASTM G102. 2002. **Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurement**. Washington: ASTM Publishing.
- AWS D1.2. 1997. **Structural Welding Code – Aluminum**. Miami: American Welding Society.
- AWS Chapter 4. 2004. **Gas Metal Arc Welding**. Florida: American Welding Society.

Chamberlain, J., Trethewey, KR. 1991. **Korosi**. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Febrianto, dkk. 2000. "Analisis Korosi Material Tangki Reaktor Triaga Mark II Bandung". **Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir-V, Serpong, 28 Juni 2000:68-71.**

Mirihanage, Wajira. 2004. "Modification Of Al 5083 Weld Joint Characteristics, Department of Materials Engineering". *Proceedings, 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on the Behavior of Offshore Structures* 2:411-418.

Mars, G., Fontana. 1967. **Corrosion Engineering 3rd edition**. New York: McGraw-Hill Book Company.

Mathers, Gane. 2002. **The Welding of Aluminium and Its Alloys**. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC.

Okumura, T., Wiryosumarto, H. 1994. **Teknologi Pengelasan Logam**. Jakarta: Pradnya Paramita.

Suherman, Wahid. 1987. **Pengetahuan Bahan**. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Suherman, Wahid. 1999. **Ilmu Logam I**. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Suherman, Wahid. 2003. **Ilmu Logam II**. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surdia, Tata. 1995. **Pengetahuan Bahan Teknik**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Sonawan H., dan Suratman R. 2003. **Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam**. Bandung: CV Alfabeta.

Widharto, Sri. 2007. **Menuju Juru Las Tingkat Dunia**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Widharto, Sri. 2001. **Petunjuk Kerja Las**. Jakarta: Pradnya Paramita.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## BIODATA PENULIS



Pandu Damay Putra lahir di Bogor, 6 Juni 1994. Anak keempat dari empat bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SD Negeri Cibuluh I Kota Bogor pada tahun 2006 dan SMP Negeri 1 Kota Bogor pada tahun 2009. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah Atas di SMA Negeri 1 Kota Bogor pada tahun 2012. Setelah lulus jenjang Pendidikan Menengah Atas, penulis melanjutkan pendidikan Perguruan Tinggi di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif di organisasi kemahasiswaan dan kepanitiaan, juga dalam berbagai pelatihan, seminar dan kegiatan lainnya.

Dalam bidang organisasi kemahasiswaan, penulis pernah menjadi *staff*

Departemen Riset dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK-ITS tahun 2013-2014 dan mendapatkan amanah sebagai Kepala Departemen Riset dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK-ITS periode 2014-2015.

Penulis pernah berkesempatan untuk menjalankan kerja praktik selama 2 bulan (1 Juli – 31 Agustus 2016) di PT. Profab NOV Indonesia, Batam, Kepulauan Riau.

Penulis tertarik dengan bidang pengelasan dan ingin mendalaminya. Penulis mulai mengerjakan Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan Pendidikan Sarjana (S1) dengan mengambil bidang keahlian Perancangan dan Produksi Bangunan Laut. Judul Tugas Akhir penulis berjudul “Analisa Perbandingan Laju Korosi di Lingkungan Laut dari Hasil Pengelasan GMAW pada Sambungan Aluminium Seri 5050 karena Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Gas Pelindung”, diselesaikan dalam waktu satu semester.